

## CONCEPTION DE SYSTÈMES DE CULTURE INNOVANTS

# DES SOLS FERTILES pour plus de **résilience**

Anne-Sophie Perrin - [as.perrin@terresinovia.fr](mailto:as.perrin@terresinovia.fr)

Anne-Laure Toupet de Cordoue - [al.decordoue@arvalis.fr](mailto:al.decordoue@arvalis.fr)

Paul Tauvel - [p.tauvel@itbfr.org](mailto:p.tauvel@itbfr.org)

Stéphane Cadoux - [s.cadoux@terresinovia.fr](mailto:s.cadoux@terresinovia.fr)

Jean-Luc Verdier - [jl.verdier@arvalis.fr](mailto:jl.verdier@arvalis.fr)

**La fertilité des sols est un pilier des systèmes de culture agroécologiques. Sur les plateformes Syppre où ces systèmes sont expérimentés, différents indicateurs sont mesurés pour suivre les composantes de cette fertilité et évaluer les bénéfices des combinaisons de leviers mis en place pour l'améliorer. Des effets sont déjà observés et des simulations prédisent les résultats attendus à plus long terme.**



*Dans un sol fertile, les cultures s'enracinent profondément et trouvent les nutriments et l'eau favorisant leur croissance et leur meilleure résistance aux maladies et aux ravageurs.*

Initiées en 2015, les cinq plateformes expérimentales inter-instituts Syppre évaluent, au regard des enjeux agricoles globaux et locaux, la multiperformance de systèmes de culture : leur productivité physique, leurs performances économiques et leur impact environnemental. Sur chacun de ces sites, un système de culture de référence est comparé à un ou plusieurs systèmes dits « innovants », combinant différents leviers de l'agroécologie. Lors de la définition du cadre d'objectifs avec les agriculteurs et les partenaires locaux, la fertilité du sol (*encadré*) et la matière organique sont ressorties comme des enjeux majeurs dans quatre situations sur cinq, bien que les services attendus soient parfois différents (*figure 1*).

## AGROÉCOLOGIE

Mode de production qui vise à favoriser et à valoriser la régulation naturelle des bioagresseurs et la robustesse des cultures pour atteindre la multiperformance.

## QU'ENTEND-ON PAR FERTILITÉ DES SOLS ?

Il n'existe pas de définition de la fertilité des sols faisant consensus auprès des agronomes et des spécialistes des sciences du sol. Nous retiendrons celle-ci : « C'est la capacité du sol à répondre aux besoins physiques, chimiques et biologiques nécessaires à la croissance des plantes, assurant leur productivité, leur reproduction et leur qualité ». La fertilité (figure 2 p.30) est liée à des propriétés stables du sol : profondeur et quantité de terre, texture... D'autres propriétés sont modifiables par le biais de pratiques agricoles, comme le pH, la quantité de matière organique, la quantité de micro-organismes ou la méso- et la macrofaune du sol.



La plateforme Syppre picarde a réussi son couvert innovant avant betterave : du tournesol, semé dans la ligne du strip-till d'été pour maintenir la structure du sol durant l'automne-hiver, associé à des espèces complémentaires semées en plein (phacélie, moutarde anti-nématodes, trèfle d'Alexandrie).

© N.Latroye - Terres Inovia

## Les couverts au centre des stratégies d'amélioration de la fertilité

Les couverts d'interculture et associés sont reconnus pour avoir des effets sur plusieurs composantes de la fertilité des sols, et notamment sur la gestion de l'azote (pour leur effet à court terme de piège à nitrate), sur la protection physique des sols et, à plus long terme (10 ans), sur l'augmentation des stocks de matière organique (figure 2 p.30). C'est pourquoi les sites Syppre optimisent tous l'usage des couverts, que ce soit en interculture longue ou courte ou en association avec des cultures de rente (comme dans le cas des colzas associés).

De nombreuses familles botaniques sont utilisées comme couverts sur les sites. Le choix s'est porté sur des espèces qui ne sont pas hôtes de maladies et/ou de ravageurs des cultures principales, afin de limiter les éventuels dys-services.

Lorsqu'un couvert associé est conservé après la récolte de la culture principale, comme sur la plateforme du Lauragais, il protège le sol des intempéries. Il produit aussi une biomasse, notamment racinaire, plus importante qui confère aux sols une meilleure portance.

Le risque d'érosion est fort sur le territoire des coteaux argilo-calcaires du Lauragais, en particulier au printemps sur les sols préparés pour le semis des

cultures d'été. Depuis l'installation de la plateforme à l'automne 2015, au moins cinq événements érosifs significatifs ont été observés. Chaque fois, les bénéfices liés à l'utilisation des couverts ont été visibles sur ce critère<sup>(1)</sup>. L'implantation d'un couvert avant tournesol (de féverole, seule ou associée à de la phacélie ou de la moutarde selon les années, détruit mécaniquement un mois avant le semis de la culture) limite l'impact des phénomènes érosifs sur la parcelle, comparé aux parcelles au sol laissé nu avant le tournesol. Sur la plateforme picarde, en 2020, le couvert avant betterave a été une réussite dans le système innovant. Un passage de strip-till a été effectué en fin d'été, puis

(1) Les résultats des deux premières années d'expérimentations de systèmes innovants sur les plateformes Syppre sont présentés dans le dossier « Systèmes de culture » du Perspectives Agricoles n°471, novembre 2019.

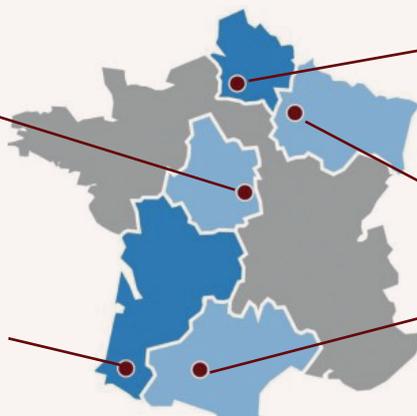
## PLATEFORMES SYPPRE : des systèmes innovants aux objectifs ambitieux

### Sols argilo-calcaires du Berry

« Un système robuste avec une bonne maîtrise des adventices et un sol fertile » (↗ N dispo)

### Terres humifères du Béarn

« Un système adapté aux contraintes futures avec une production de maïs maîtrisée et une rentabilité maintenue »



### Limons profonds de Picardie

« Valoriser le potentiel des sols avec une fertilité améliorée » (↘ tassements et battance, ↗ N dispo)

### Terres de craies de Champagne

« Des productions de qualité avec moins de GES et sur un sol fertile » (↘ battance, ↗ N dispo)

### Coteaux argilo-calcaires du Lauragais

« Produire plus avec de la qualité et sur un sol fertile » (↘ érosion)

Figure 1

Localisation des cinq plateformes d'essais de systèmes de culture Syppre et objectifs majeurs\* visés pour les systèmes de culture innovants. (\*) Tels qu'énoncés par les partenaires lors de la définition du cadre d'objectifs. Plus de précisions sur les systèmes de culture comparés sur le site [www.syppre.fr](http://www.syppre.fr)

du tournesol a été semé dans la ligne pour maintenir la structure et a été suivi par un semis en plein d'un mélange de moutarde anti-nématodes, de phacélie et de trèfle d'Alexandrie.

Cependant, les couverts n'améliorent la fertilité des sols que si les conditions climatiques sont favorables à leur levée puis à leur croissance. Sur les plateformes champenoise et berrichonne, les étés 2018, 2019 et 2020 ont été marqués par des stress hydriques conséquents, rendant difficiles l'implantation et le bon développement des couverts d'interculture.

### La réduction du travail du sol est incontournable

La diminution de la profondeur et de la fréquence de travail du sol ainsi que le non retournement de la couche travaillée (non labour) constituent un moyen d'améliorer la stabilité structurale des sols.

Tous les systèmes de culture innovants intègrent une réduction globale du travail du sol tout en gardant une flexibilité pour s'adapter à l'exigence des cultures (semis direct des céréales, strip-till en betterave, décompactage avant une pomme de terre, etc.) et à l'état structural du sol (implantation du colza en semis direct si la structure est favorable, ou après déchaumage si un tassement est observé).

Des tests visuels effectués sur des mottes de terre sur la plateforme du Lauragais permettent d'apprécier l'impact des pratiques évaluées sur la stabilité structurale des sols. En plus de la protection physique apportée par les couverts et leurs racines, et de l'apport de matière organique qu'ils constituent, l'impact bénéfique de la réduction du travail du sol est bien visible sur l'agrégation des particules minérales et organiques entre elles.

En Champagne, sur terre de craie, des

### COUVERTS ET ADVENTICES

La présence et la gestion des couverts ne peut se raisonner sans prendre en compte les difficultés de gestion des adventices qu'ils peuvent occasionner. Dans les systèmes innovants Syppre, qui combinent réduction du travail du sol, introduction de couverts et réduction des herbicides (avec notamment la volonté de se passer de glyphosate), la gestion des adventices est aujourd'hui partout problématique. Le choix des couverts et les stratégies d'implantation sont à affiner pour mieux les contrôler.

résultats positifs ont également été observés. Dans le système innovant, on a choisi de réduire le travail du sol pour limiter la

### FERTILITÉ DES SOLS : un objectif prioritaire de tous les SYSTÈMES INNOVANTS SYPPRE

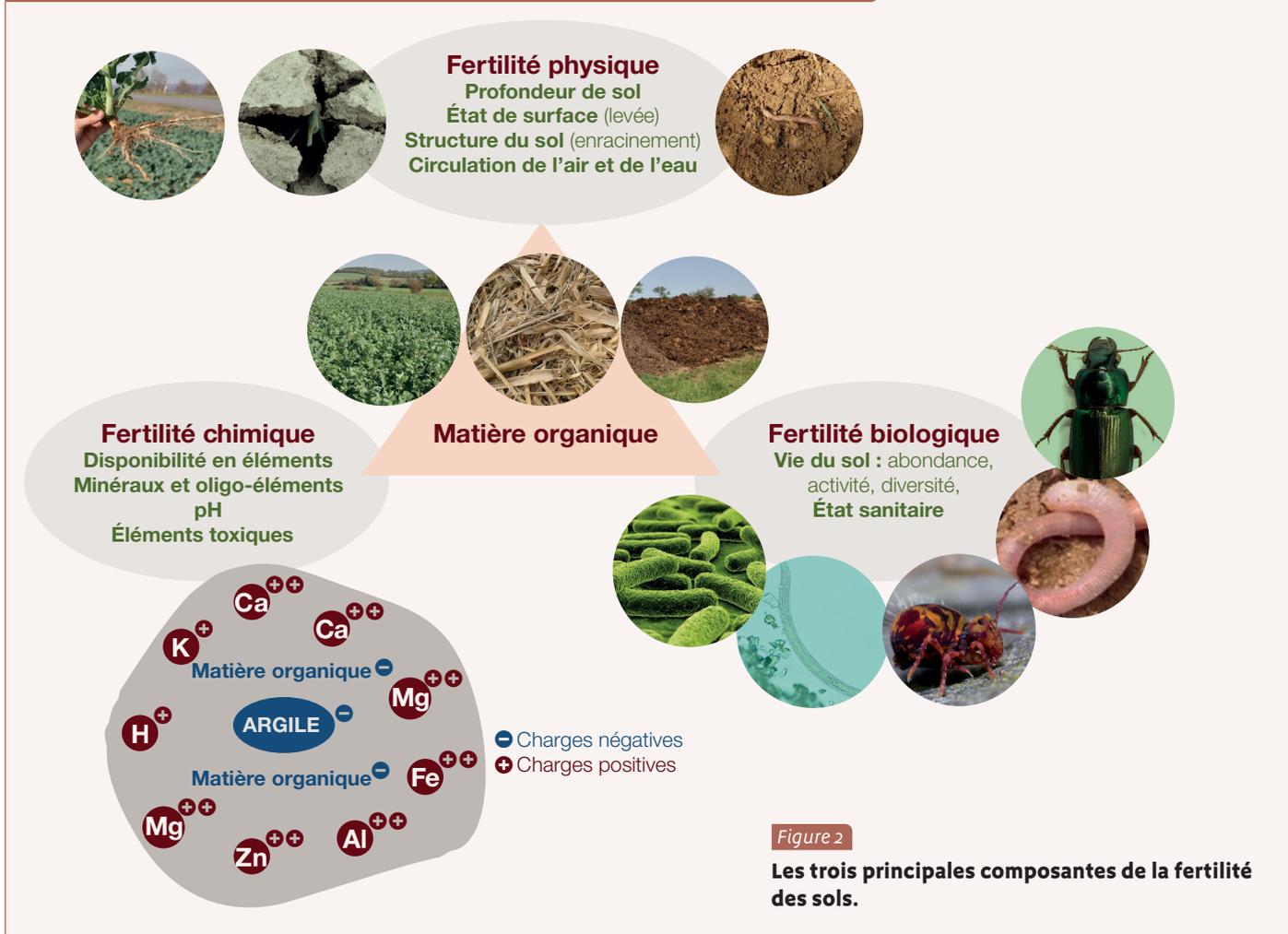


Figure 2  
 Les trois principales composantes de la fertilité des sols.

**NUTRITION AZOTÉE : le colza du Berry est boosté par la rotation**

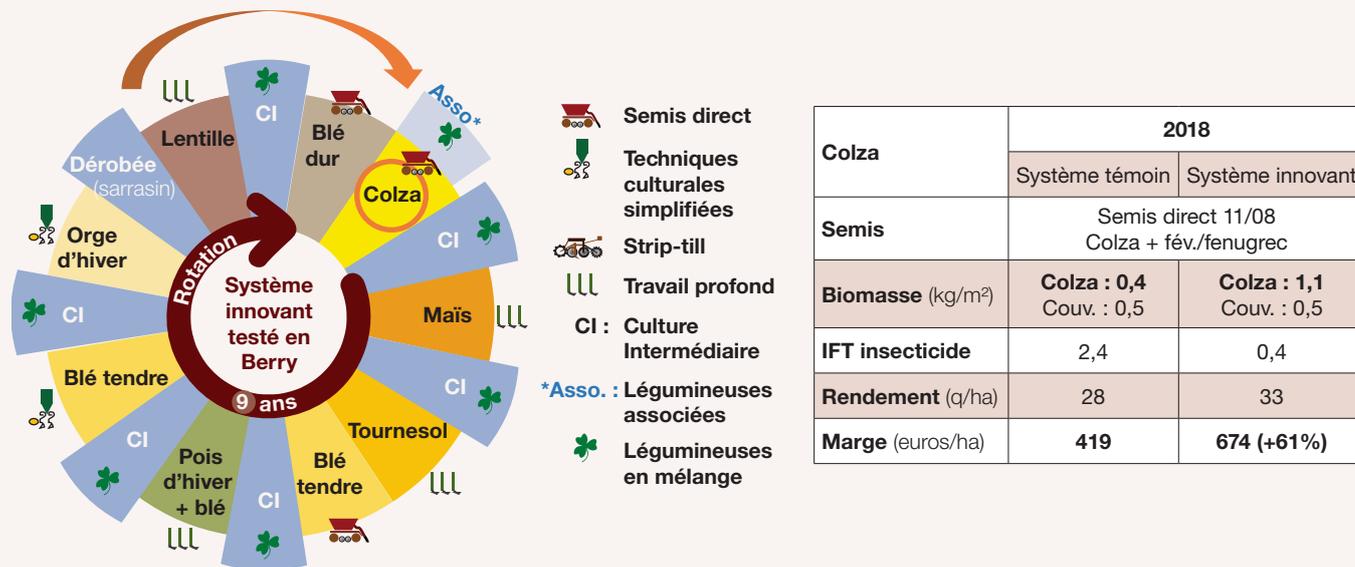


Figure 3

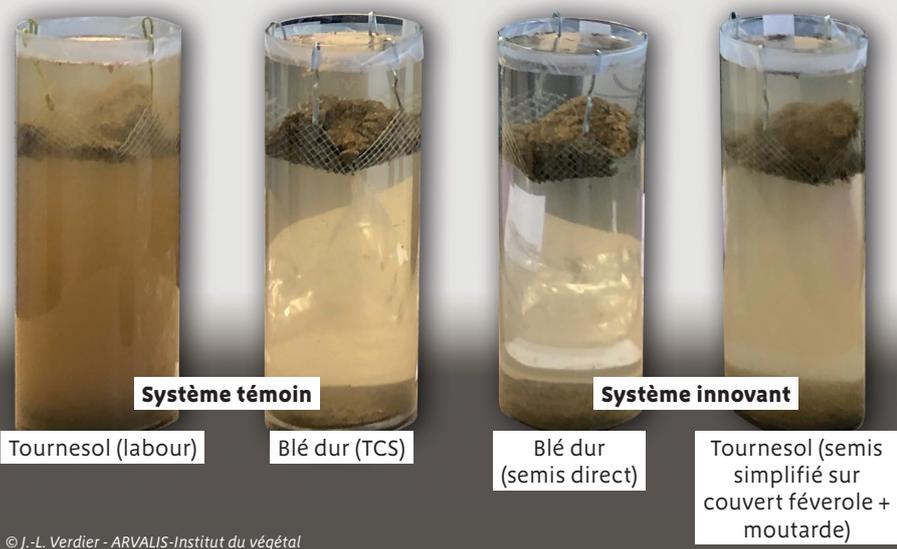
**Rotation du système innovant de Syppre Berry et performances du colza en 2018.** Rotation du système témoin : colza-blé tendre-orge d'hiver en travail superficiel. Le mode d'implantation du colza est identique dans les systèmes témoin et innovant. Aussi le gain de croissance, de productivité et de rentabilité du colza innovant s'explique par l'effet précédent de la succession lentille-blé dur.

battance et d'implanter le colza et les betteraves après un passage de strip-till. Sur la campagne en cours, la survenue d'un orage a entraîné la formation d'une croûte de battance sur le colza du système témoin, semé après labour ; celui-ci a dû être re-semé, alors que la qualité de levée du colza du système innovant a été très bonne. À l'entrée de l'hiver, le colza « inno-

vant » affichait une biomasse de 2,7 kg/m<sup>2</sup>, contre 0,2 kg/m<sup>2</sup> pour le colza témoin. Autre bénéfice notable : aucune intervention phytosanitaire n'a été nécessaire sur le colza du système innovant, du fait de sa bonne implantation et de sa vigueur, alors qu'il y en a eu cinq sur le colza du système témoin (insecticides + désherbage). D'après l'état des connaissances actuelles,

la simplification du travail du sol favoriserait également l'abondance et la biodiversité de la plupart des organismes du sol - et notamment des vers de terre, araignées, carabes, opilions et champignons. Les collectes et identifications de vers de terre et nématodes (zoom p.33) réalisées sur les sols des cinq plateformes permettront de quantifier l'impact des systèmes de culture agroécologiques sur certains organismes du sol.

Des mottes sèches de terre de la plateforme Syppre du Lauragais ont été immergées dans une colonne d'eau. La dispersion des mottes et la turbidité de l'eau renseignent sur la stabilité structurale du sol.



© J.-L. Verdier - ARVALIS-Institut du végétal

**Une nutrition azotée optimisée**

Les systèmes de culture innovants des plateformes se distinguent par des rotations de culture plus longues. L'augmentation du délai de retour des cultures qui s'ensuit diminue les possibilités de maintien et de développement des pathogènes. Les successions culturales ont, par ailleurs, été optimisées afin de bénéficier des effets d'un précédent de légumineuses pour les cultures d'hiver valorisant bien l'azote. Concernant la fertilité des sols, l'augmentation de l'autonomie azotée est le principal objectif en Berry et Champagne. Les sols très calcaires de ces plateformes minéralisent lentement la matière organique du sol ; l'approvisionnement par le sol des plantes en azote est donc faible.

**MATIÈRE ORGANIQUE : les systèmes innovants améliorent généralement le stockage du carbone**

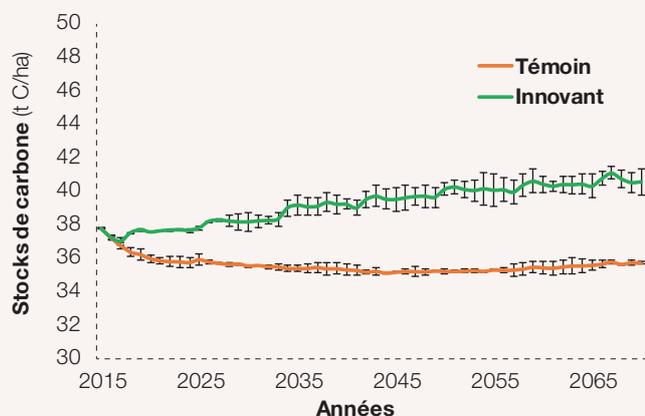


Figure 4

**Simulation de l'évolution des stocks de carbone organique dans les 30 premiers centimètres du sol dans les systèmes de culture de la plateforme Syppre du Lauragais.** TEM : dans le système témoin ; INN : dans le système innovant. Simulations réalisées avec le modèle STICS (INRAE), projet SOLÉBIOM.

Le colza est particulièrement impacté par ces défauts de minéralisation d'azote, qui limitent sa dynamique de croissance, le rendant ainsi plus sensible aux dégâts d'insectes notamment. L'association du colza avec des légumineuses est incontournable pour améliorer la nutrition du colza et réduire sa sensibilité aux dégâts d'insectes. Mais ce seul levier n'est pas suffisant. Dans le système innovant berrichon, le positionnement du colza après la succession lentille-blé dur lui apporte un supplément d'azote. En 2018, grâce à cette succession, la biomasse du colza en entrée d'hiver avait quasiment triplée (1,1 kg/m<sup>2</sup>) comparé au système témoin (0,4 kg/m<sup>2</sup>), pourtant implanté à la même date en semis direct et en association avec de la féverole et du fenugrec (figure 3 p.31). Cette amélioration de la robustesse du colza, qui se confirme année après année, a aussi permis une impasse insecticide tout en déplaçant le rendement et en améliorant la marge économique de 61 %.

Après trois campagnes sur la plateforme picarde, l'implantation du colza associé après un pois de conserve valorise les reliquats azotés élevés après ce légume, au bénéfice de la croissance du colza. Cette croissance dynamique du colza a, là encore, permis une impasse insecticide durant les trois premières années d'essais<sup>(2)</sup>. Pour la récolte 2020 en Berry et Picardie,

grâce aux stratégies innovantes de gestion de la nutrition des plantes basées notamment sur l'insertion de légumineuses en cultures principales et en couverts, les doses moyennes d'azote à l'échelle des systèmes innovants ont été réduites respectivement de 42 et 11 % comparé au système témoin. Dans le système innovant de la plateforme champenoise, les apports d'azote minéral sont inférieurs de 20 à près de 40 % par rapport au système témoin, selon les campagnes. La présence de légumineuses dans l'assolement - en cultures principales, associées et en interculture - explique largement cet écart ; mais la mise en place de cultures de printemps, moins consommatrices en azote minéral, peut aussi y contribuer. Toutefois, les mauvaises performances économiques des deux protéagineux (pois de printemps et pois d'hiver) de la rotation innovante de dix ans, notamment du fait de gros dégâts d'oiseaux, vont conduire au remplacement d'au moins un des deux pois par une autre culture.

**Des effets attendus à plus long terme, en lien avec la matière organique des sols**

La teneur en matière organique (égale à la teneur en carbone x 1,72) a un impact favorable sur les différentes compo-

santes de la fertilité des sols. Elle stabilise leur structure, en surface ou dans la couche travaillée - or une bonne stabilité structurale favorise l'infiltration et la portance des sols, et limite la battance et le tassement. La matière organique contribue aussi à l'approvisionnement en nutriments des plantes et est une source d'alimentation essentielle à la grande majorité des organismes du sol.

Dans le cadre du projet SOLÉBIOM<sup>(3)</sup>, l'état initial des stocks de matière organique des cinq plateformes Syppre a été mesuré de manière rigoureuse en début de rotation, ce qui a permis de prédire l'évolution du statut organique des sols des systèmes de culture. Les variations de stocks étant fortement dépendantes des stocks initiaux des parcelles, il est, en effet, important de les mesurer précisément<sup>(4)</sup>.

Avant son implantation, la parcelle de la plateforme du Lauragais était faiblement pourvue en matière organique, du fait du pédoclimat favorisant leur minéralisation rapide et de la forte érosion de ces sols de coteaux. Les simulations réalisées (figure 4) prédisent que, grâce aux leviers mis en œuvre, les stocks de carbone des sols évolueront très favorablement dans le système innovant.

En revanche, les sols de la parcelle berrichonne, caillouteux et peu profonds, étaient initialement très riches en matière

(2) Comment a-t-on pu se passer totalement d'insecticides sur le colza pendant trois ans sur la plateforme Syppre Picardie ? Vous en saurez plus sur <https://syppre.fr/2020/11/13/le-colza-sans-insecticides-cest-possible>

(3) Plus d'informations sur ce projet sur <http://tinyurl.com/Solebiom>.

(4) Pour en savoir plus, relire l'article « Systèmes de culture innovants : évaluer l'évolution du statut organique des sols » du n°466 de Perspectives Agricoles, mai 2019.

organique mais dans une masse de terre fine plus faible ; les pratiques antérieures avaient contribué à enrichir les sols. Sur cette plateforme, le système témoin comme le système innovant devraient perdre de la matière organique. Même si la minéralisation de la matière organique dans ces sols calcaires est lente, les pertes annuelles de carbone nécessitent d'apporter beaucoup plus de matière organique que dans un sol initialement pauvre en matière organique. Les pertes annuelles correspondent en effet à un pourcentage de la matière organique initiale. Le système innovant berrichon, au sol déjà très riche en carbone, stocke moins de carbone que le système témoin, du

fait de l'introduction de cultures à plus faibles biomasses aérienne et racinaire qui restituent moins de carbone au sol. Cependant, il faut souligner que lorsque l'impact des émissions de gaz à effet de serre par les sols est pris en compte, le système de culture innovant berrichon présente un meilleur bilan « gaz à effet de serre » que le système témoin. Outre la quantité de matière organique, il est également très important, dans les sols fragiles, de prendre en compte sa localisation au sein du profil de sol. En effet, augmenter la teneur en matière organique dans la couche de surface en diminuant la profondeur du travail du sol améliore la stabilité structurale des sols. Sur la pla-

teforme Picarde, la battance des sols du système de culture innovant devrait ainsi être limitée comparée au système témoin. À partir de la caractérisation fine des sols des plateformes Syppre, des simulations de la dynamique de l'azote ont également été réalisées avec le modèle STICS (INRAE) dans le cadre du projet SOLÉBIOM. Les systèmes innovants, pour lesquels les intrants azotés ont été réduits, présenteraient, par rapport à leurs témoins, une meilleure fourniture en azote minéral par décomposition de la matière organique du sol et des résidus de cultures. Des simulations montrent, par ailleurs, une réduction des pertes azotées vers les eaux et l'atmosphère. ■

## ZOOM

# Vers et nématodes sous la loupe

**Plusieurs organismes vivant dans les sols semblent être des indicateurs de leur fertilité. C'est notamment le cas des vers de terre et des vers nématodes, suivis sur les plateformes Syppre.**



*Des indices calculés sur la base de la composition et de l'abondance des différents groupes de vers nématodes renseignent sur le fonctionnement biologique du sol.*

Une évaluation des populations de vers de terre et de vers ronds (nématodes) a été réalisée au début de l'expérimentation afin de suivre l'évolution de leurs populations. L'abondance et la biomasse des vers de terre ont été mesurées, et leurs espèces ainsi que les trois groupes fonctionnels auxquels ils appartiennent (vers épigés, endogés et anéciques), identifiés par des spécialistes d'INRAE.

La richesse et les groupes trophiques des vers nématodes ont également été évalués. Parmi les quelques 11 000 espèces de nématodes recensées dans les sols, réparties en six principaux groupes trophiques, « seules » 4000 espèces sont phytoparasites. Chaque groupe trophique peut renseigner sur une fonctionnalité du sol. Les deux groupes de nématodes phytophages (les « obligatoires », qui vivent nécessairement aux dépens des plantes, et les « facultatifs », qui ne se nourrissent pas exclusivement de végétaux) renseignent sur la nature et l'état de la couverture végétale et, éventuellement, sur le risque de perte de rendement.

Les nématodes microbivores (bactérovores et fongivores) renseignent sur le compartiment microbien, la dynamique de la matière organique et le recyclage des nutriments. Enfin les nématodes de niveaux trophiques supérieurs (omnivores et carnivores) reflètent les perturbations physiques ou chimiques du milieu. ■