

livre blanc

AGRONOMIE BIEN MAÎTRISÉE COMMENCE PAR LE SOL

COMPRENDRE POUR AGIR

Préface

L'agriculture prend ses racines dans le sol et cet héritage, nous nous devons de le préserver. C'est d'ailleurs notre raison d'être depuis 36 ans. Il y a dix ans, nous avons pris la décision de créer un centre de recherche, en investissant 400 000 euros par an pour mieux comprendre le fonctionnement du vivant, valoriser la richesse en micro-organismes de nos solutions organiques en innovant avec de nouvelles biotechnologies efficaces et rentables pour l'agriculture d'aujourd'hui et de demain.

Avec ce livre blanc, nous avons souhaité partager notre expérience, notre savoir-faire et nos connaissances sur la santé des sols et donc leur fertilité, leur résilience et l'optimisation de l'assimilation des éléments minéraux. L'objectif ? Vous donner les clés pour un meilleur fonctionnement de vos sols pour une meilleure nutrition et une meilleure résistance de vos cultures. En route vers l'agriculture régénératrice !

Bastien et Mathieu Giovale,
dirigeants d'OvinAlp Haute Fertilisation



Introduction

À l'échelle mondiale, près de 30 % des sols sont considérés comme dégradés ou en mauvaise santé. En Europe, ce chiffre dépasserait les 60 %. Sachant que près de 95 % de notre nourriture provient, directement ou indirectement du sol, et que ce dernier héberge près du quart de la biodiversité terrestre, il est aisé de comprendre la nécessité, et l'urgence, de restaurer sa fertilité. Car prendre soin des sols, c'est aussi préserver la sécurité alimentaire des populations. Comment agir ? En commençant par comprendre comment fonctionne un sol puis par poser un diagnostic pour qualifier l'état de ses terres. Ensuite, place à l'action. Ce livre blanc vous éclaire sur les différents leviers actionnables. Vous découvrirez qu'un sol en bonne santé passe avant tout par la mise en place de pratiques durables, pour préserver et/ou restaurer les matières organiques des sols dont la vie des organismes qui les compose.

Sommaire

1 - Comprendre le fonctionnement des sols	4
2 - Évaluer la fertilité des sols	8
3 - Les facteurs de dégradation des sols	12
4 - La matière organique, un bien à restaurer	16
5 - Les micro-organismes, acteurs de la santé du sol	22
6 - Comment stimuler le microbiote du sol ?	26
Conclusion	29



1

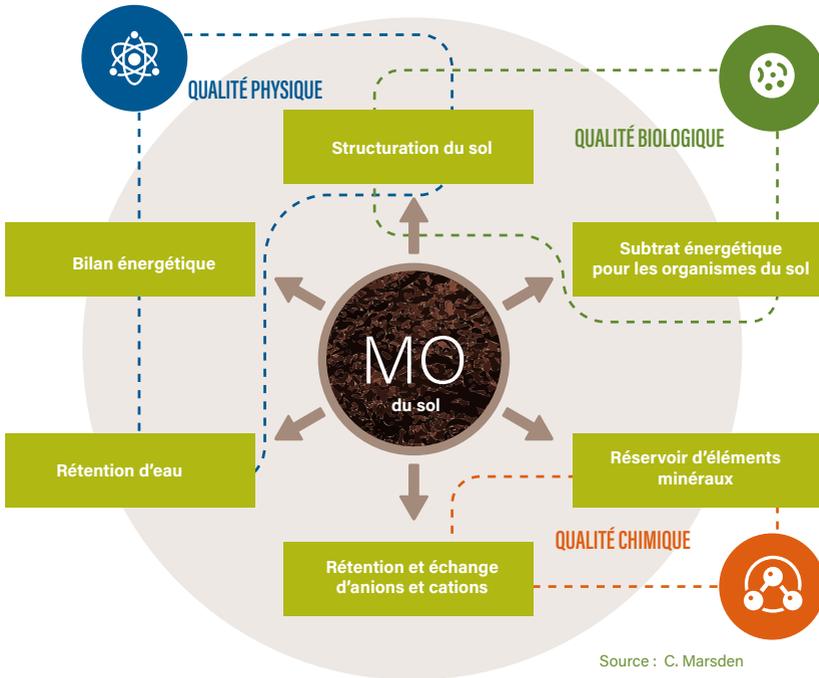
Comprendre le fonctionnement des sols

Qu'est-ce qu'un sol en bonne santé ? Dans la littérature, difficile de trouver une seule définition. Souvent est évoqué un sol qui « fonctionne » bien. Tous les experts sont unanimes. Un sol en bonne santé, ou fertile, est celui qui remplit toutes ses fonctions : chimiques, physiques et biologiques. Il doit ainsi permettre aux plantes de se développer dans de bonnes conditions tout au long de leur croissance pour viser les objectifs de production tant en quantité qu'en qualité. Finalement, il n'y a pas de sol sain universel : tout dépend de l'usage visé et des services attendus. Si certaines caractéristiques sont propres à chaque sol et donc, non modifiables – comme la profondeur,

la texture ou la teneur en pierres -, d'autres peuvent évoluer dans le temps via des pratiques agricoles, durables, adaptées. Ainsi, il est possible d'agir sur l'acidité d'un sol, sa teneur en nutriments, sa porosité, sa teneur en carbone ou en matières organiques et sa vie biologique.

Les trois composantes de la fertilité d'un sol sont fortement imbriquées. Sans un sol bien structuré, impossible pour l'eau ou les nutriments de bien circuler par exemple. Et sans une vie du sol dynamique, difficile pour la matière organique de bien se dégrader. D'où la nécessité de se pencher sur les trois facettes de cette fertilité pour en comprendre les mécanismes.

Le rôle de la matière organique



A] LA FERTILITÉ CHIMIQUE

La fertilité chimique du sol correspond à son aptitude à assurer la nutrition minérale des végétaux. Les éléments nutritifs et les oligoéléments doivent être disponibles en quantité suffisante et de manière équilibrée. Leur accessibilité, notamment dans la solution du sol, est garante d'une nutrition optimale.

Cette biodisponibilité des éléments du sol fait référence à la capacité d'un nutriment ou d'un élément chimique présent dans le sol à être absorbé et utilisé par les plantes.

Autrement dit, c'est la quantité de l'élément qui est réellement accessible pour les racines des plantes à un moment donné.

Les facteurs influençant la biodisponibilité des éléments :

- ▶ Le pH du sol,
- ▶ La texture et la structure du sol,
- ▶ Le taux de matière organique,
- ▶ La présence de substances antagonistes,
- ▶ Les conditions climatiques.

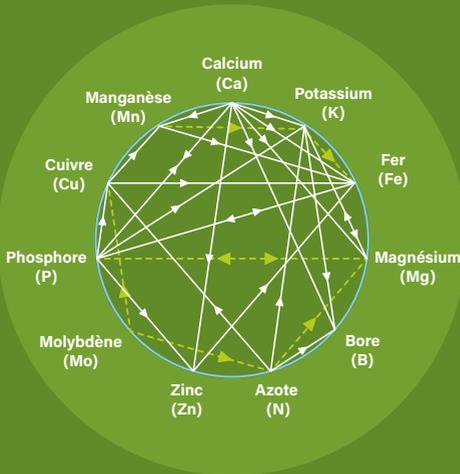
À retenir

Les nutriments interagissent entre eux de différentes manières.

Selon leur concentration dans la solution du sol, ils peuvent entrer en compétition : un nutriment en excès peut entraver l'absorption d'un autre (antagonisme). À l'inverse, certains nutriments favorisent l'absorption d'autres éléments (synergie).

Diagramme de MULDER

Interactions entre les éléments nutritifs
(Source APAD)



Antagonisme

Diminution de la disponibilité d'un élément à la plante due à l'action d'un autre élément

Synergie

Augmentation de la disponibilité d'un élément à la plante due à l'augmentation du niveau d'un autre élément

B] LA FERTILITÉ PHYSIQUE

La fertilité physique des sols se caractérise par l'état de la structure du sol, en particulier sa porosité depuis la surface. Un sol bien organisé permettra une circulation optimisée de l'air et de l'eau. L'air, élément indispensable à la respiration des racines et des organismes vivants ; et l'eau, élément vital pour l'alimentation des plantes et l'absorption des éléments nutritifs et au développement des macro et micro-organismes. Une bonne fertilité physique contribue non seulement à la productivité des cultures, mais aussi à la résilience des sols face aux perturbations, la capacité d'un sol à récupérer et à maintenir sa productivité après des perturbations ou des stress (naturels ou humains).

Un sol résilient est capable de :

- ▶ Contrôler la réserve d'eau dans le sol pour éviter les excès ou manques d'eau,
- ▶ Éviter l'érosion et la perte de nutriments,
- ▶ Maintenir une biodiversité fonctionnelle,
- ▶ Se régénérer après des perturbations (inondations, sécheresse, compaction, etc.).

C] LA FERTILITÉ BIOLOGIQUE

La fertilité biologique du sol se traduit par la capacité du sol à soutenir la vie végétale grâce à un ensemble d'activités biologiques bénéfiques qui favorisent la minéralisation des nutriments, la décomposition de la matière organique et la protection des cultures contre les maladies. Elle dépend de la présence et de l'activité d'une diversité de micro-organismes, de vers de terre

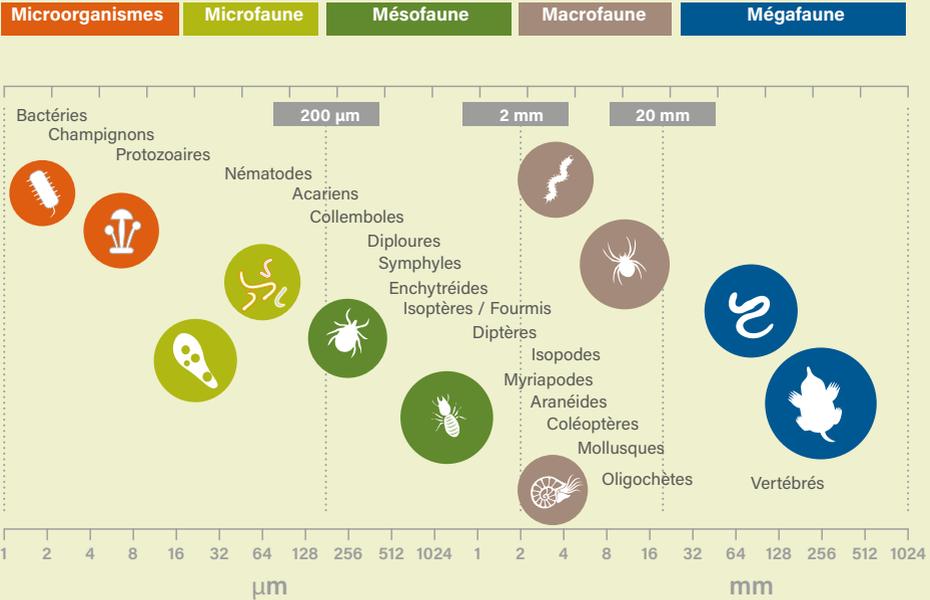
et d'autres organismes du sol bénéfiques qui participent à des processus clés pour la croissance des plantes. La fertilité biologique est un aspect fondamental de la santé du sol, car elle détermine non seulement la capacité du sol à fournir des nutriments aux plantes, mais aussi sa résilience face aux perturbations environnementales et aux pratiques agricoles.

Le saviez-vous ?

Un gramme de sol en bonne santé peut abriter jusqu'à un milliard de bactéries et un million de champignons filamenteux. À l'échelle de l'hectare, on touche du doigt l'énorme diversité que ces organismes et micro-organismes représentent.

Les organismes du sol

Source : SD Classeuly



2

Évaluer la fertilité des sols

Différentes méthodes, de laboratoire ou de terrain, existent pour évaluer la fertilité des sols. Complémentaires, ces outils sont aussi à adapter au contexte pédoclimatique de chaque territoire. Ainsi, l'analyse de terre permet par exemple d'évaluer le pH, les teneurs en éléments minéraux (azote, phosphore, potassium, cuivre, zinc...) ou en matières organiques. Seules ou mises en regard des paramètres physiques d'un sol, ces données fournissent aux agriculteurs des informations clés pour évaluer les risques de carences, mieux gérer la fertilisation minérale, les apports d'amendements minéraux basiques et le bilan humique.

Le profil cultural et le test bêche sont deux méthodes visuelles qui donnent une indication sur la structure du sol, la qualité de l'enracinement, la densité d'organismes vivants

La CEC, un bon indicateur

La CEC ou Capacité d'échange cationique est la quantité de cations qu'un sol peut retenir à la surface de ses agrégats, au sein du complexe argilo-humique, à un pH donné. En traduisant sa capacité à retenir des éléments nutritifs, la CEC est un des indicateurs de la fertilité chimique du sol. En règle générale, plus un sol est riche en argile et en matière organique, plus sa CEC est importante. En cas de faible CEC, seul un apport régulier de matière organique pourra la relever : la teneur en argile ne pouvant pas être modifiée.

Connaissez-vous les acides humiques et fulviques ?

Il s'agit de composants essentiels de la matière organique du sol, en particulier de l'humus. Ces acides, bien que souvent confondus en raison de leurs similitudes, ont pourtant des caractéristiques et des fonctions distinctes.

LES ACIDES HUMIQUES :

- ▶ Aident à former des agrégats de sol en liant les particules de sol (comme l'argile et le sable), ce qui améliore la porosité et le drainage,
- ▶ Augmentent la capacité du sol à retenir l'eau,
- ▶ Favorisent la CEC. Cela signifie que les sols riches en acides humiques sont capables de mieux retenir les nutriments pour les rendre accessibles aux plantes,
- ▶ Peuvent se lier aux métaux lourds et autres contaminants, les rendant moins disponibles pour les plantes, ce qui peut réduire la toxicité du sol.

LES ACIDES FULVIQUES :

- ▶ Sont généralement plus légers et plus petits dans leur structure chimique,
- ▶ Aident à transporter les nutriments et les minéraux dans les racines des plantes en formant des complexes organiques avec ces nutriments, facilitant leur absorption,
- ▶ Ont des effets biostimulants et peuvent favoriser la croissance des racines, l'activation des enzymes et l'assimilation des éléments nutritifs,
- ▶ Nourrissent les micro-organismes bénéfiques du sol,
- ▶ En tant qu'agents solubles, aident à dissoudre certains nutriments et à les rendre disponibles pour les plantes, même dans des sols pauvres ou peu réactifs.

Bien qu'ils aient des caractéristiques différentes, les acides humiques et acides fulviques travaillent souvent ensemble pour créer un environnement optimal pour les plantes et les micro-organismes du sol, en favorisant la séquestration du carbone et en participant à l'amélioration des sols dégradés, notamment dans les sols acides ou alcalins, en équilibrant leur pH et en augmentant leur fertilité.

Minéralisation des matières organiques et fourniture d'azote dans le sol

Source : d'après Soltner

Dans les 3000 à 4000 tonnes de terre d'un hectare, il y a environ 2% d'humus stable, soit 60 à 80 tonnes qui contiennent 5% d'azote, soit 3 à 4 tonnes (1% du poids de la terre).



45 à 60 kg d'azote sous forme de nitrates sont à la disposition des cultures... et s'ajoutent aux quelques 100kg (quantité très variable en fonction du type de résidu) libérés par la minéralisation primaire M1 des matières organiques fraîches.

présents, la porosité des mottes, leur agencement... autant d'éléments qui permettent, le cas échéant, d'identifier les mesures correctives à mettre en place. Seul bémol, ce diagnostic ne concerne que la profondeur observée.

La pénétrométrie mesure, quant à elle, la résistance du sol à l'enfoncement d'une tige : un indicateur de la force que devra déployer la plante pour assurer sa croissance racinaire. Si cette résistance dépend de l'humidité du sol et de sa texture, elle peut aussi mettre le doigt sur d'éventuels effets de tassement, néfastes au bon fonctionnement du sol. La mesure de la réserve utile du sol (RU) peut aussi être un bon indicateur car elle dépend de la texture, de la structure et de la profondeur du sol.

Les plantes bioindicatrices renseignent également sur l'état du sol : sa structure, sa texture, son pH ainsi que la vie des micro-organismes. Toutes les plantes ne germant pas dans toutes les situations, connaître la biologie de celles présentes dans ses champs constitue un précieux indicateur. Les valeurs acquises lors de ces différentes mesures doivent s'accompagner de référentiels pour faciliter leur interprétation et ainsi, mettre en place un conseil adapté.

En complément des analyses physico-chimiques et d'observations de terrain, des analyses organo-biologiques permettent une approche pertinente de la fertilité biologique des sols. L'analyse de terre « classique » peut ainsi être appuyée par des indicateurs biologiques pour élargir le

(1) 1,5 est le coefficient de minéralisation K2

diagnostic et le conseil et ainsi, mieux adapter les pratiques culturales restituant du carbone au sol : apports d'amendements et de fertilisants organiques, implantation de couverts végétaux, restitution des résidus de culture...

Voici deux techniques utilisées pour analyser la vie biologique du sol :

- ▶ Mesure de la biomasse microbienne
- ▶ Mesure de la respiration du sol



Le saviez-vous ?

L'institut technique Arvalis a, aux côtés de nombreux partenaires du monde agricole, créé l'Observatoire de la fertilité des sols de l'Ouest, puis l'Observatoire de la fertilité des sols du Nord. La démarche est de suivre, pendant plusieurs années, des dizaines de parcelles, dans différentes régions françaises, pour analyser l'influence de critères tels que les pratiques culturales, les systèmes de culture ou encore les conditions climatiques sur l'évolution de la fertilité des sols.

3

Les facteurs de dégradation des sols

En lien avec le contexte pédoclimatique, la fertilité des sols est sujette à différents types de dégradation comme le tassement, l'érosion, l'acidification, ou encore l'appauvrissement des teneurs en matières organiques ou en nutriments. Autant de causes qui ne permettent pas aux cultures de se développer dans de bonnes conditions. D'où la nécessité, pour chaque cas, d'identifier les leviers d'action.

A] LES TASSEMENTS DU SOL

Le tassement est une diminution de la macro et de la microporosité du sol sous l'action de contraintes mécaniques lors d'interventions culturales. La présence de matières organiques permet aux sols de résister aux phénomènes de désagréga-

tion, de tassement et de compaction, en stabilisant la structure et en offrant au sol des propriétés élastiques, via la formation de complexes organo-minéraux comme le complexe argilo-humique.

Il est important de distinguer deux types de tassements, aussi appelés compactions. Les tassements superficiels, qui concernent les quinze premiers centimètres du sol, peuvent être fortement pénalisants sur le moment mais sont relativement faciles à corriger. Les tassements plus profonds, de 20 cm de profondeur et au-delà, très difficiles à corriger, auront un impact sur le long terme. Le risque d'un tassement est une réduction de la porosité du sol, de son aération et de la capacité de l'eau à s'infiltrer : avec un impact direct sur le développement

du système racinaire et sur la capacité du sol à capter et restituer l'eau. Des expérimentations ont montré qu'une structure de sol dégradée peut conduire à des pertes de rendements allant de 5 à 30 % selon les cultures.



Les leviers d'action :

- ▶ Réduire la charge des engins agricoles,
- ▶ Opter pour des pneus basse-pression ou des pneus larges,
- ▶ Éviter de circuler sur un sol trop humide,
- ▶ Apporter des amendements pour corriger la structure du sol,
- ▶ De 0 à 10 cm, opter pour un travail superficiel du sol,
- ▶ De 10 à 20 cm, préférer un labour, un décompactage ou un pseudo-labour,
- ▶ Au-delà, de 30 à 50 cm, renforcer l'activité biologique du sol pour recréer de la porosité. Cela peut prendre plusieurs années, à moins d'apporter des micro-organismes exogènes.

B] LA RÉDUCTION DE L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE

La diversité et la quantité d'organismes et de micro-organismes présents dans le sol impactent directement l'activité biologique et donc, sa capacité à assurer différentes fonctions : recyclage des nutriments, stockage et transformation du carbone, minéralisation ou dégradation des résidus...



Les leviers d'action :

- ▶ Apport de matières organiques à base de fumiers ou déjections animales

- riches en vie microbienne,
- ▶ Restitution des résidus de culture,
- ▶ Introduction de couverts végétaux,
- ▶ Réduction de l'apport d'intrants chimiques,
- ▶ Apport de biostimulants microbiens.

C] LA DÉPENDANCE AUX ENGRAIS CHIMIQUES DE SYNTHÈSE

La fertilité des sols, concept clé en agromonie, a évolué au fil du temps en fonction des avancées scientifiques et des changements dans les pratiques agricoles. Les trois principales composantes que sont la fertilité chimique, physique et biologique ont chacune été mises en avant à différents moments de l'histoire en fonction des préoccupations agricoles et environnementales de chaque époque :

- ▶ Fertilité chimique pour augmenter les rendements après la Seconde Guerre mondiale,
- ▶ Fertilité physique au début du XXI^e siècle pour améliorer la structure du sol,
- ▶ Fertilité biologique aujourd'hui, avec un focus sur la durabilité et l'équilibre écologique des sols.

Ce changement de paradigme reflète une compréhension de plus en plus approfondie de l'importance des sols non seulement pour l'agriculture, mais aussi pour la santé de l'environnement et le climat mondial.

Une fertilité chimique surinvestie pour augmenter les rendements après la Seconde Guerre mondiale

La dépendance aux engrais chimiques de synthèse a profondément modifié les pra-

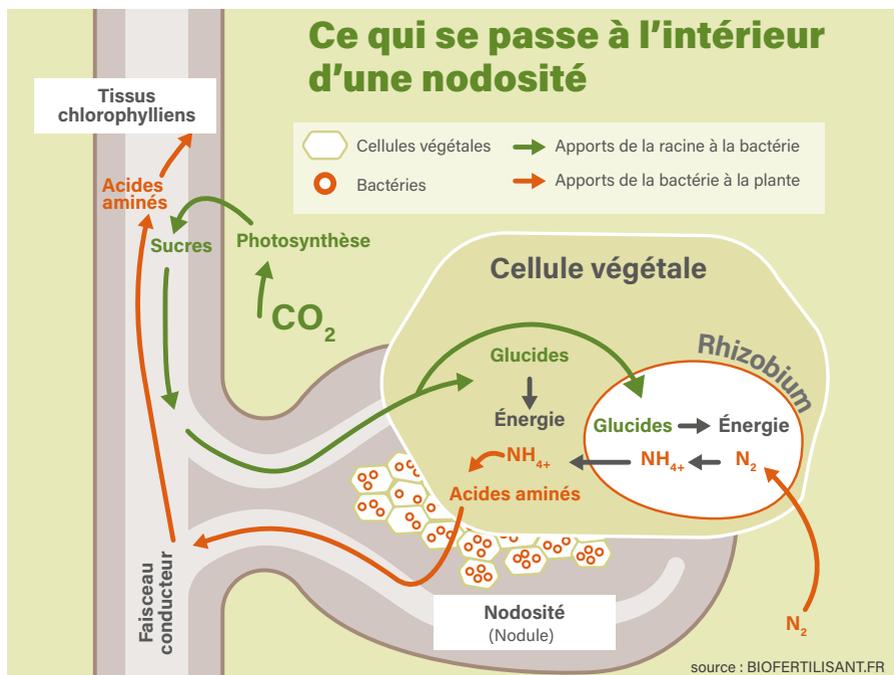
tiques agricoles. Certes, les rendements ont augmenté mais cette stratégie a aussi eu un impact négatif sur la santé des sols. Avant l'usage généralisé de ces engrais, les agriculteurs, souvent aussi éleveurs, utilisaient les fumiers et lisiers riches en azote pour fertiliser leurs cultures, préservant ainsi la richesse organique du sol. Cependant, après la seconde guerre mondiale, l'essor des engrais chimiques a favorisé la productivité, au détriment de la durabilité des sols. L'usage excessif d'engrais azotés minéraux, sans apport de matière organique, appauvrit progressivement les sols en carbone et en nutriments essentiels. Cela altère la structure du sol, réduit la vie microbienne, et entraîne des carences pour les plantes. Pour compenser ces manques, les agriculteurs ont souvent recours à des

doses, souvent importantes, d'engrais chimiques de synthèse, accélérant ainsi l'épuisement des sols. Par ailleurs, l'utilisation excessive de ces produits contribue à la pollution des sols par les nitrates et phosphates : entraînant une dégradation de la biodiversité et un risque de contamination des eaux et des aliments par des substances toxiques. Ce phénomène accentue les problèmes d'érosion et de lessivage, rendant les sols de plus en plus vulnérables à la dégradation.



Les leviers d'action :

- ▶ Apport de matières organiques stables pour éviter les phénomènes de lixiviation et rendre plus disponibles les nutriments déjà présents dans le sol



- ▶ Ajustement de la fertilisation
- ▶ Introduction de légumineuses dans la rotation pour restituer l'azote aux cultures suivantes. Ces plantes, capables de fixer l'azote de l'air grâce à leurs nodosités, sont des alliées de poids.

D] L'ÉROSION

L'érosion, qu'elle soit provoquée par le vent, l'eau ou la gravité, génère une perte de la couche arable fertile des sols et donc, de leur biodiversité. Si elle dépend aussi de la pente et de la texture des sols, elle est surtout liée au contexte pédoclimatique d'un territoire.



Les leviers d'action :

- ▶ Limiter le travail du sol,
- ▶ Éviter de laisser les sols nus,
- ▶ Implanter des cultures en terrasses,
- ▶ Enrichir le sol en matières organiques stables.

E] L'ACIDIFICATION

Dans les zones de sols non calcaires, le risque d'acidification des sols est réel. L'entretien régulier du pH par le chaulage des sols est important pour ne pas atteindre des niveaux d'acidité néfastes aux productions agricoles : un pH supérieur à 6 est recommandé en grandes cultures.



Principal levier d'action, réaliser un apport de chaux.

F] LA PERTE DE MATIÈRE ORGANIQUE

La perte de matière organique et plus largement, de toute la vie du sol, est observée ces dernières années dans plusieurs régions de France. En cause, un recul de l'élevage, une intensification du travail du sol et l'exportation de paille. Or, un sol appauvri diminue la stabilité des agrégats du sol, augmente le risque d'érosion et de perte de fertilité de la parcelle.



Les leviers d'action :

- ▶ Apport de matières organiques exogènes,
- ▶ Restitution des résidus de récolte,
- ▶ Couverture des sols avec des couverts végétaux,
- ▶ Réduction des apports d'intrants chimiques,
- ▶ Diminution du travail du sol.

Les atouts d'un sol en bonne santé

Mais au fait, pourquoi est-il si important d'avoir un sol en bonne santé ? Les réponses, multiples, sont à la fois économiques et environnementales. Ainsi, un sol bien structuré, bien équilibré permet une meilleure maîtrise des coûts de production et préserve ainsi la rentabilité de la culture. Comment ? En limitant le nombre de passages d'outils pour préparer le sol et avec eux, la consommation de carburant et l'usure du matériel. Un sol en bonne santé, riche en humus, nécessitera moins d'apport d'engrais chimiques et absorbera mieux l'eau, limitant ainsi les risques de sécheresse ou, à l'inverse, les excès de pluie. Des sols résilients s'adapteront mieux aux aléas climatiques.

4

La matière organique, un bien à restaurer

Les principaux risques de dégradation de la qualité des sols ont été identifiés et des solutions durables existent pour mettre en place une gestion sur le long terme. La fertilité d'un sol doit être appréhendée et évaluée dans sa globalité pour permettre un diagnostic complet afin d'enclencher les leviers d'action les plus pertinents pour répondre aux problématiques locales. Force est de constater qu'au cœur de ces solutions figure très souvent la préservation du taux de matière organique. Celle-ci est indispensable à la vie des sols. Elle forme le complexe argilo-humique, à la fois structure du sol et source d'éléments nutritifs pour les cultures.

Dans le sol, il y a des matières organiques qui remplissent des fonctions.

- ▶ La matière organique liée qui compte des composés organiques stabilisés, appelés humus, provenant de la décomposition avancée des matières organiques et constituant 70 à 90 % de la matière organique totale du sol.
- ▶ La matière organique libre, composée de matières organiques fraîches - débris végétaux, animaux, fongiques et microbiens - décomposées par les microorganismes en produits transitoires.
- ▶ La matière organique biologique composée de matières organiques vivantes (MOV) comprenant l'ensemble de la biomasse active, incluant les racines des végétaux, les macro-organismes comme les vers de terre et les micro-organismes du sol.



Enquête

Une enquête, menée par Agrodistribution-ADquation en avril 2024 auprès de 400 agriculteurs, révèle que l'apport de matière organique arrive en tête (à 92 %) des leviers d'action cités pour améliorer la fertilité des sols. Suivent ensuite l'analyse de sol (88 %), la mise en place de couverts végétaux (84 %), la réduction du travail du sol (71 %) et l'apport d'amendements minéraux basiques (68 %).

Le top 5

des leviers utilisés pour améliorer la fertilité des sols



Pour améliorer la fertilité de vos sols, avez-vous recours à ...?



L'apport de matière organique **92%**

Des analyses de sol **88%**

La mise en place de couverts végétaux **84%**

La diminution du travail du sol **71%**

L'apport d'amendements minéraux basiques **68%**

Enquête Agrodistribution-ADquation réalisée par téléphone du 26 mars au 8 avril 2024 auprès de 400 chefs d'exploitation agricole ayant au moins 50 hectares de SAU et en orientation principale, grandes cultures, polyculture-élevage et élevage. Échantillon représentatif à 98 % des exploitations de plus de 50 ha de SAU. Les marges d'erreur sont de 1,4 point pour les résultats proches de 1 % ou de 100 %, et de 5 points pour ceux proches de 50 %.

Parmi les produits proposés pour effectuer des apports de matières organiques, tous ne remplissent pas ces trois fonctions. Il est essentiel de bien caractériser les matières organiques apportées afin de comprendre l'impact de ces apports sur les sols.

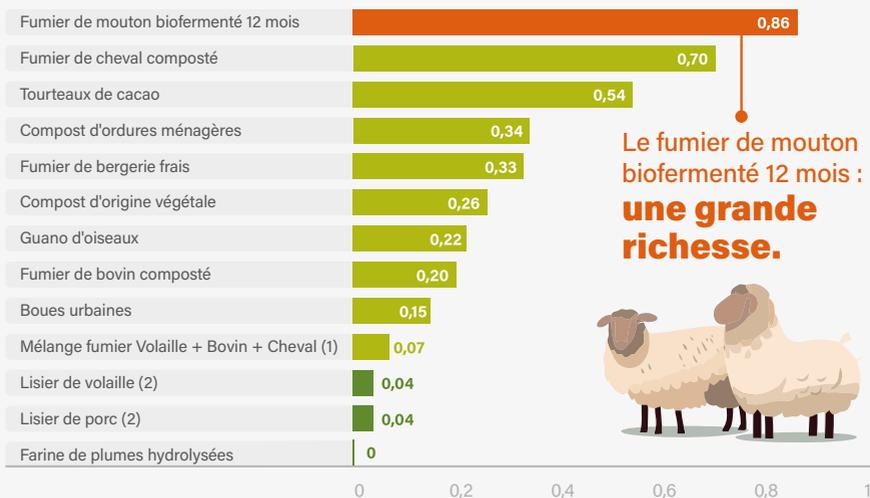
Jetez un œil sur le taux de restitution humique

Mais la palette de produits organiques proposés sur le marché est grande. Entre lisiers, fientes, digestats, déchets verts, compost et fumiers, comment s'y retrouver ?

En regardant, notamment, une donnée : le taux de restitution humique. Celui-ci traduit la capacité du produit à fournir de l'humus stable au sol et donc, aux cultures. Il dépend avant tout de la teneur en lignine et en cellulose de l'amendement. Le fumier de mouton biofermenté 12 mois est, par exemple, en bonne place dans le classement des amendements les plus intéressants à apporter. Et ce, quelle que soit la culture à fertiliser.

Cette capacité des matières à générer de l'humus a été tout d'abord mesurée par le

Taux de restitution humique de différentes matières premières organiques



(1) ISB sur Matière Sèche : source CTIFL (1998) - (2) Analyse Laboratoire IUT Environnement Digne-les-Bains Robin D(1997). Intérêt de la caractérisation biochimique pour l'évaluation de la proportion de matière organique stable après décomposition dans le sol et la classification des produits organo-minéraux. Agronomie 17, 157-171.

K1, ensuite abandonnée pour l'ISB et la méthode TR CBM, remplacée aujourd'hui par l'ISMO (Indice de Stabilité des Matières Organiques).

L'ISMO, calculé dans des conditions contrôlées en laboratoire, mesure uniquement la capacité théorique du fertilisant à restituer de l'humus et ne prend pas en compte la dynamique réelle de la matière organique dans le sol sous l'effet des organismes vivants. L'ISMO n'est donc pas suffisant sans caractérisation de la vie biologique.

Traitement thermique, compostage ou biofermentation ?

L'hygiénisation des matières premières organiques est obligatoire pour éviter tout risque sanitaire. Elle peut se faire par traitement thermique ou par compostage. La stérilisation, qui consiste à passer la matière première organique à 133°C pendant 20 minutes, rend le produit inerte biologiquement : un biais si l'on souhaite préserver certains micro-organismes. Cette technique est, par exemple, utilisée pour les poudres de viande.

Le compostage est un processus biologique de dégradation de la matière organique

sous l'action de micro-organismes, de bactéries, de champignons et de vers de terre. L'un des objectifs du compostage est d'hygiéniser la matière organique, c'est-à-dire de réduire ou éliminer les pathogènes, les mauvaises graines, et les agents nuisibles qui pourraient être présents dans les déchets organiques avant leur utilisation dans les sols.

On parlera de biofermentation quand tous les paramètres sont scientifiquement parfaitement maîtrisés : qu'il s'agisse de la durée du process, de la température, de l'humidité ou du taux d'oxygène. Ce processus, plus complexe, permet une hygiénisation (avec des montées en température d'une heure à 70°C), la destruction des graines d'adventices (50°C pendant 3 semaines) et d'élever une biodiversité riche en micro-organismes. On obtient un produit hygiénisé et vivant (très dense en micro-organismes), qui doit obligatoirement être validé par un agrément sanitaire délivré par les autorités compétentes. Les produits finis peuvent se présenter en bouchons extrudés à froid, afin de préserver la flore microbienne et garantir ainsi un délitage de qualité dans le sol : on parle alors de bouchonnage à froid. Soulignons que les montées en température non naturelles (séchage, déshydratation, bouchonnage à chaud) détruisent les micro-organismes d'intérêt. Un taux de matière sèche très élevé (> 87 %) est souvent synonyme de traitement thermique.

À retenir

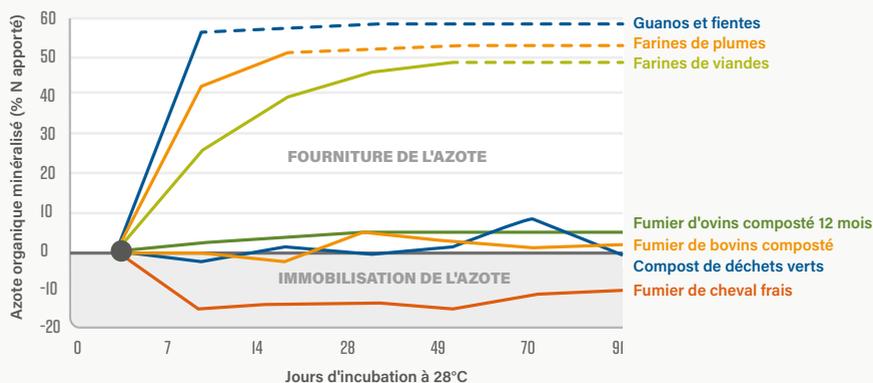
La nature des matières premières organiques et leur process de transformation vont définir la rapidité de minéralisation de l'azote organique. Le rapport C/N ou rapport carbone sur azote, est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol. Avant de choisir tel ou tel produit, ouvrez l'œil et lisez bien l'étiquette pour identifier la provenance du produit organique, sa composition et sa technique de fabrication. Cette mention constitue d'ailleurs la seule donnée légale d'un produit, comparée à la fiche technique.

Attention, il y a matière organique... et matière organique !

La question à se poser en amont est : quels sont mes besoins agronomiques pour répondre à mon objectif de production ? Rehausser le taux d'humus de mon sol ? Relancer l'activité biologique ? Fertiliser pour nourrir mon sol et mes cultures ? De la réponse à ces questions dépendra le choix de la matière organique et de sa composition :

- ▶ Un amendement à base de matières végétales produira plus d'humus qu'un amendement à base de matières animales mais proposera une vie microbienne souvent plus faible.
- ▶ Un produit composté stable permettra de rehausser le taux d'humus du sol. Plus la durée de compostage a été longue,

Vitesse de minéralisation de l'azote organique en fonction de la source



Source : «Une meilleure connaissance des engrais et amendements organiques utilisés en Bio, Christiane Raynal (CTIFL) et Bernard Nicolardot (Inra), 2006, Alter Agri n°79. Caractéristiques agronomiques de quelques engrais organiques, Guide des matières organiques, tome 2, ITAB, 2001. La minéralisation de l'azote du sol : poste clé de la méthode du bilan, AGRO-Systèmes / SAS Laboratoires, 2009. Minéralisation des PO : acquisition de références, CTIFL, 2011»

plus le produit est dit « mûr » et plus son potentiel humifère est important.

- ▶ Un fumier, biofermenté ou non, ainsi qu'un compost de fumier jeune, plus enrichi en matière organique libre, joueront un rôle avant tout biologique.
- ▶ Attention aux fumiers pailleux ou aux déchets verts non compostés. Le carbone facilement utilisable monopolisera bactéries et azote du sol pour sa dégradation. Ce phénomène appelé « faim d'azote » peut avoir un impact négatif sur les rendements des cultures les premières années, sauf en cas de compensation en azote minéral.

Ainsi, trois critères sont importants à prendre en compte :

- ▶ Le rapport C/ N du produit. Plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se dégradera lentement et plus il fournira de l'humus stable. Un C/N compris entre 15 et 20 est l'indicateur d'un compost « mûr ».
- ▶ La capacité des matières à générer de l'humus (ISMO). Toutefois, cet indicateur doit être couplé à la caractérisation de la vie biologique du sol pour évaluer correctement sa fertilité et sa capacité à maintenir des cycles nutritifs équilibrés.
- ▶ Et la richesse en micro-organismes qui dépend du type de matière première utilisée, du processus d'hygiénisation et du respect de cette vie microbienne jusqu'à l'ensachage et l'épandage du produit.

À retenir

Pour comparer deux matières organiques entre elles, mieux vaut prendre en compte la teneur indiquée sur le produit brut plutôt que celle mentionnée sur la matière sèche. La teneur minimale de matière organique exigée pour les amendements organiques par la norme NFU 44-051 varie de 15 à 25 % en fonction des produits.

Matières organiques, gestion du carbone et lutte contre le changement climatique

La vie du sol joue un rôle essentiel dans le stockage et le déstockage du carbone, un processus crucial pour le cycle global du carbone et le changement climatique. Les vers de terre, les champignons, les bactéries et d'autres micro-organismes ont un rôle majeur dans la décomposition des matières organiques et dans le stockage du carbone. Ces organismes digèrent les résidus végétaux et les transforment en formes stables de carbone dans le sol. Quant aux micro-organismes et aux racines des plantes, ils rejettent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère lors de leur métabolisme, processus appelé respiration. Cela peut être un facteur important dans le déstockage du carbone. Le carbone stocké sous forme de matière organique dans le

sol est libéré dans l'air sous forme de CO₂. Les efforts visant à améliorer la gestion du sol, à restaurer les terres dégradées et à promouvoir des pratiques agricoles durables peuvent aider à renforcer le rôle du sol comme puits de carbone. Si la matière organique est correctement gérée, elle peut réduire les émissions de CO₂ du sol, car un sol en bonne santé avec une forte teneur en matières organiques capte plus de carbone que celui qui est pauvre en matière organique. De plus, la couverture végétale permanente, associée à l'apport de matières organiques, peut limiter le déstockage du carbone par érosion ou oxydation. Mais attention, une décomposition trop rapide des matières organiques peut libérer du carbone dans l'atmosphère sous forme de CO₂, ce qui annule une partie des bénéfices en termes de stockage. Soulignons également que l'ajout excessif de matières organiques peut aussi mener à des déséquilibres dans le sol (acidification, excès d'azote, etc.) et réduire l'efficacité du stockage du carbone.

Le bilan carbone des sols dépend donc largement de la quantité de matières organiques apportées et de la gestion de leur décomposition. En augmentant l'apport de matières organiques de manière durable, il est possible de stocker davantage de carbone dans le sol et de réduire les émissions de CO₂, contribuant ainsi à atténuer le changement climatique. La clé réside dans une gestion prudente des pratiques agricoles et environnementales pour maximiser la séquestration du carbone et minimiser les pertes.



5

Les micro-organismes, acteurs de la santé du sol

Les micro-organismes participent à de nombreuses fonctions du sol, comme sa structuration, les cycles biogéochimiques (cycle du carbone, azote, phosphore ...), la croissance des plantes ou la décomposition de la matière organique. Ils sont essentiels aux fonctions clés du sol. Les plus petits d'entre eux, bactéries et champignons, assurent une fonction de recyclage des éléments minéraux présents dans le sol, en dégradant les fragments les plus fins des matières organiques restituées au sol sous forme d'humus. Les micro-arthropodes (la

mésafaune) transforment, quant à eux, la matière organique fraîche en matière organique plus évoluée. De leur côté, les vers de terre permettent notamment de maintenir la structure et la porosité du sol : l'air et l'eau circulent plus facilement. Parmi les autres fonctions des micro-organismes, on peut citer la régulation des populations de bioagresseurs. Les organismes prédateurs permettent ainsi de maintenir des équilibres au sein du sol entre les différentes espèces. Les perturbations provoquées par le travail du sol vont modifier les habitats,

Typologie des micro-organismes et leurs fonctions

Micro-organismes	Leurs caractéristiques
 Champignons	Ils constituent, après les racines la plus forte proportion de matières vivantes dans le sol
	Ils aident à rendre les éléments nutritifs du sol assimilables par les plantes
	Ils jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique
	Ils sont facilement détruits et tués par un travail intensif du sol.
 Bactéries	D'elles dépendront la fertilité et la qualité d'un sol
	Les bactéries fixatrices d'azote constituent une partie importante du cycle de l'azote du sol : elles sont associées à diverses plantes, notamment le soja, les pois, le trèfle et la luzerne
 Actinomycètes	Ils décomposent la matière organique
	Ils sont abondants dans les sols drainants et à pH faible
 Algues	Elles décomposent la matière organique du sol
	Elles poussent couramment dans les sols mal drainés

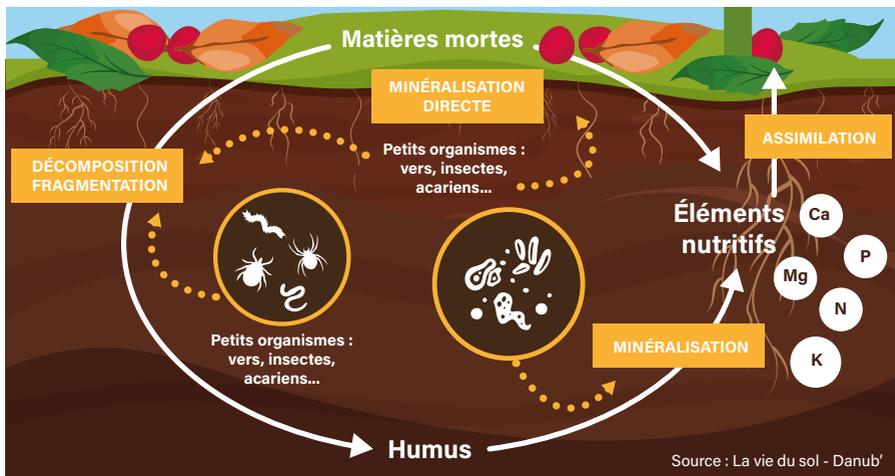
la localisation des sources alimentaires et donc agir sur ces populations. Elles vont avoir un impact sur l'abondance, la diversité (au sein d'une même grande espèce) et l'activité des organismes.

Vous l'aurez compris, la rhizosphère est un écosystème dynamique et complexe, où se

jouent à la fois des coopérations bénéfiques pour la plante et des luttes contre les pathogènes. L'interaction entre les cultures et les micro-organismes du sol, qu'ils soient bactériens ou fongiques, est essentielle pour la croissance, la nutrition et la résistance aux stress environnementaux, particulièrement

Le cycle de la matière organique

Actions des différents micro-organismes sur le sol



dans le contexte actuel de changement climatique. Les pratiques visant à maintenir ou restaurer cette biodiversité microbienne s'affichent dès lors comme des leviers importants pour une agriculture durable. D'autant que de nombreux auteurs dé-

crivent que des amendements organiques riches en matière organique et en diversité microbienne, comme des fumiers bien compostés, peuvent réduire les maladies causées par des phytopathogènes (bactéries, champignons et nématodes).

Connaissez-vous *Bacillus amyloliquefaciens* ?

- ▶ C'est un excellent biofertilisant
- ▶ Il favorise la croissance des plantes via différents mécanismes :
 - En améliorant la disponibilité des nutriments du sol,
 - En régulant la communauté microbienne du sol pour augmenter la proportion de microbes bénéfiques et diminuer celle des agents pathogènes,
 - En sécrétant des hormones et des COV (composés organiques volatils) pour réguler la croissance des cellules végétales, favoriser le développement des racines et améliorer encore l'absorption des nutriments par les plantes,
 - En augmentant la résistance des plantes aux stress biotiques,
 - En induisant la tolérance aux stress abiotiques.

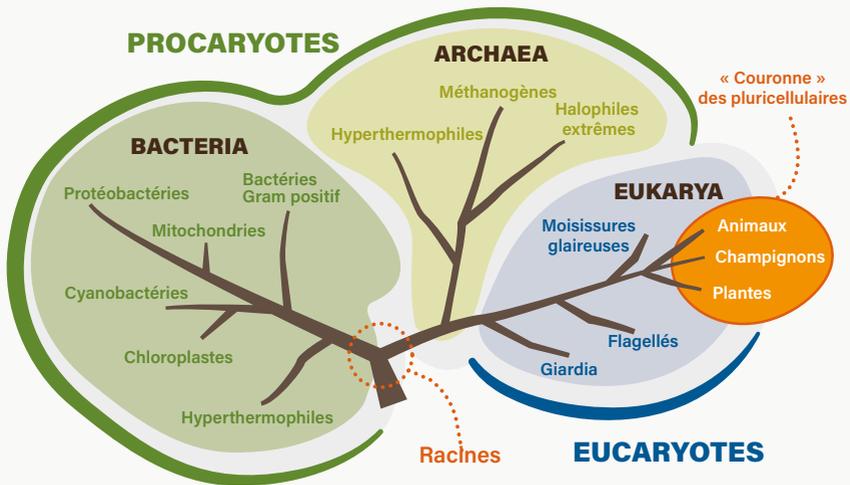
Et *Pseudomonas chlororaphis* ?

- ▶ C'est une bactérie qui colonise la rhizosphère pour leur conférer aux plantes une meilleure résistance aux stress abiotiques,
- ▶ Elle améliore la résistance des plantes aux stress environnementaux tel que la sécheresse, en modulant la balance hormonale de la plante,
- ▶ Elle réduit la concentration d'éthylène, hormone qui inhibe la croissance en période de stress,
- ▶ Elle stimule la croissance des plantes en produisant des hormones de croissance (auxines) et des enzymes, propices à leur développement,
- ▶ Elle améliore la solubilisation du potassium du sol et augmente l'efficacité de la fertilisation potassique.



L'arbre phylogénétique universel du vivant

défini à partir des comparaisons de séquences du gène d'ARNr



Source : Biologie Simplifiée

6

Comment stimuler le microbiote du sol?

Le sol ne doit plus être considéré comme un support mais comme un être vivant qui a, selon sa composition, la capacité d'influencer la productivité et la qualité des cultures. Comment stimuler son activité ? En agissant sur son microbiote. Voici plusieurs pistes d'action.

A] BROYER LES COUVERTS AVANT FLORAISON

Broyer un couvert avant floraison permet de restituer au sol une matière organique libre. C'est-à-dire, composée d'éléments avec un rapport C/N faible et un temps de dégradation rapide (quelques jours à quelques mois). Le carbone labile est le carburant du sol : il sert d'énergie aux micro-organismes. Il offre également une très bonne efficacité de conversion en humus stable par une

meilleure activité biologique des sols.

L'humus, quant à lui, a un temps de dégradation très lent. Il développe un rôle plus stabilisateur pour les sols par des protections chimiques et physiques. Mais à elle seule, la matière organique stable ne suffit pas à structurer le sol. Elle doit s'accompagner d'une activité biologique intense, rendue possible par de bons taux de carbone labile.

B] INCORPORER DES MICRO-ORGANISMES EFFICACES POUR ENSEMENCER LA PARCELLE

Pour stimuler et améliorer l'activité biologique du sol et favoriser ainsi une meilleure disponibilité des nutriments pour les plantes, tout en préservant ou renforçant la structure du sol, il est possible d'apporter des micro-organismes d'intérêt agronomique grâce à des activateurs de fertilité biologique des sols ou des biostimulants microbiens.

Ils agissent à différents niveaux en optimisant les réserves du sol, en facilitant l'assimilation des minéraux par les plantes, en les accompagnant face aux effets du changement climatique, tout en préservant la santé des sols cultivés et en améliorant les rendements. Ils peuvent être utilisés dans des sols "bloqués" pour libérer les éléments fertilisants biodisponibles. Ils jouent donc un rôle stimulant sur le végétal au niveau racinaire, pour optimiser sa nutrition. Finalement, ils redonnent au sol certaines de ses fonctions perdues.

Ainsi, certaines spécialités fertilisantes améliorent, grâce à la présence de bac-

téries et/ou de champignons bien ciblés, l'assimilation du phosphore et de l'azote par exemple, deux éléments essentiels au développement des cultures. En parallèle, la mise en place de défenses naturelles est favorisée. Face à l'augmentation des aléas climatiques et des stress biotiques, aider les plantes à mieux les appréhender devient incontournable.

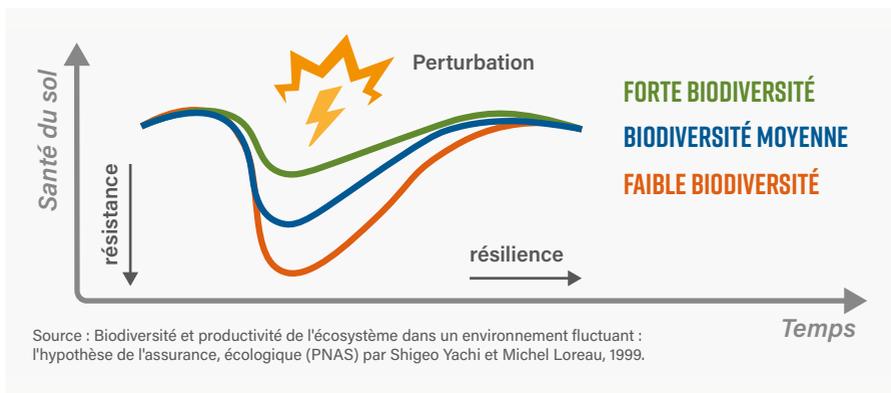
C] UTILISER DES PLANTES EN C4

Les plantes avec un mécanisme en C4 (maïs ou sorgho) sont différentes des plantes en C3 (blé ou betterave) par leur mode de fixation du dioxyde de carbone pendant la photosynthèse. Les plantes dites C4 captent plus de carbone et produisent plus d'exsudats racinaires que les C3. Or, les exsudats racinaires sont des molécules solubles riches en carbone telles que des sucres simples, des acides aminés, des acides organiques ou encore des enzymes émises par les racines dans la rhizosphère. Ils sont rapidement assimilés par les micro-organismes du sol et constituent une source d'énergie pour le processus d'humification.



Biodiversité et capacité de résilience du sol

Quel est le rôle de la biodiversité pour le sol ?



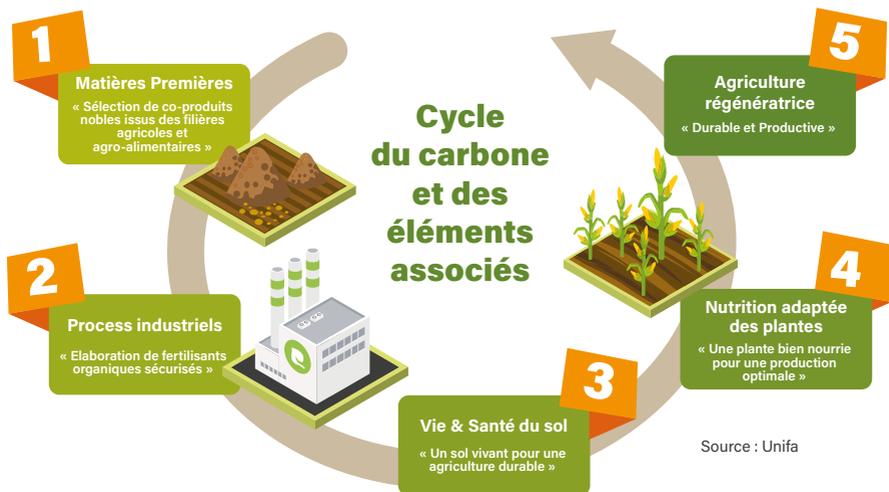
Le sol doit conserver un ratio équilibré entre la matière organique stable et les éléments solubles. Il est important d'apprécier la stratégie dans son ensemble et de réfléchir au type de micro-organismes à favoriser : bactéries, champignons ou les deux. Et dans cette optique, il est clair que le sol a un rôle central à jouer : à condition qu'il soit en bonne santé. Car un sol riche en biodiversité sera plus résilient et résistera mieux aux différents aléas subis.

D] OPTIMISER LA RELATION SOL/PLANTE

Les sols et les plantes forment un système interdépendant au cœur des écosystèmes, influencé à la fois par des facteurs abiotiques (climat, roche mère, topographie) et biotiques (interactions avec d'autres organismes). Les sols jouent un rôle clé dans la nutrition et la croissance des plantes, directement liées aux ressources en eau et en éléments minéraux disponibles. En retour, les plantes modifient les propriétés

du sol : sa structure, son pH et son taux de matières organiques. Ces interactions ont des conséquences profondes sur les cycles biogéochimiques (carbone, azote, eau) et sur la dynamique globale de l'écosystème. Cela crée une relation dynamique et continue entre les deux éléments, essentielle à la stabilité et à la résilience des écosystèmes terrestres.

Certains produits organiques, composés de micro-organismes capables de recycler les éléments minéraux non assimilés par les plantes, possèdent des effets biostimulants. Ils permettent ainsi d'augmenter rapidement la teneur en humus des sols en libérant tout leur potentiel nutritif naturel : une « nourriture » restituée aux plantes qui, en parallèle, augmente le stockage de carbone et d'azote dans le sol. Ces solutions permettent aussi de limiter les apports d'intrants. La relation sol/plante ou plus précisément microbiote/racine est optimisée. Le sol est nourri, les plantes également.



Conclusion

Le sol ne doit plus être considéré comme un simple support de culture. Cette structure, vivante, en constante évolution mérite le plus grand soin.

La dégradation des sols n'est pas une fatalité en soi ; des solutions existent. Cette dégradation est multifactorielle et nécessite une connaissance pointue des causes pour être traitée. Les différentes analyses que proposent les laboratoires spécialisés, permettent de mettre à jour un certain nombre de ces causes et donc d'y apporter une réponse adaptée.

La restitution de la fertilité d'un sol doit répondre aux trois piliers que sont la fertilité chimique, physique et biologique des sols. Les pratiques agricoles évoluent pour limiter les perturbations qui vont affecter la fertilité du sol, mais également choisir les pratiques adaptées à la reconstitution ou la préservation de cette fertilité. Nous l'avons

vu dans ce livre blanc, les intrants organiques ont un rôle primordial à jouer dans la régénération des sols agricoles ; pour autant ces matières n'ont pas toute le même intérêt agronomique. Ainsi le choix d'un fertilisant organique, au-delà de sa composition en N-P-K, doit tenir compte, pour répondre à son ou ses besoins agronomiques, de la ou des matières premières qui le composent, de son process de fabrication (stérilisation, compostage, biofermentation), de la vie microbienne qu'il peut apporter pour stimuler le microbiote du sol.

En définitive, à problème multifactoriel, une solution unique ne peut s'imposer et un équilibre sur mesure à chaque situation doit être trouvé. Les innovations fleurissent sur ce marché. L'arrivée d'amendements associés à des biostimulants souffle un vent de renouveau, prometteur. À suivre...

OvinAlp
Haute fertilisation

Terre-net
Factory