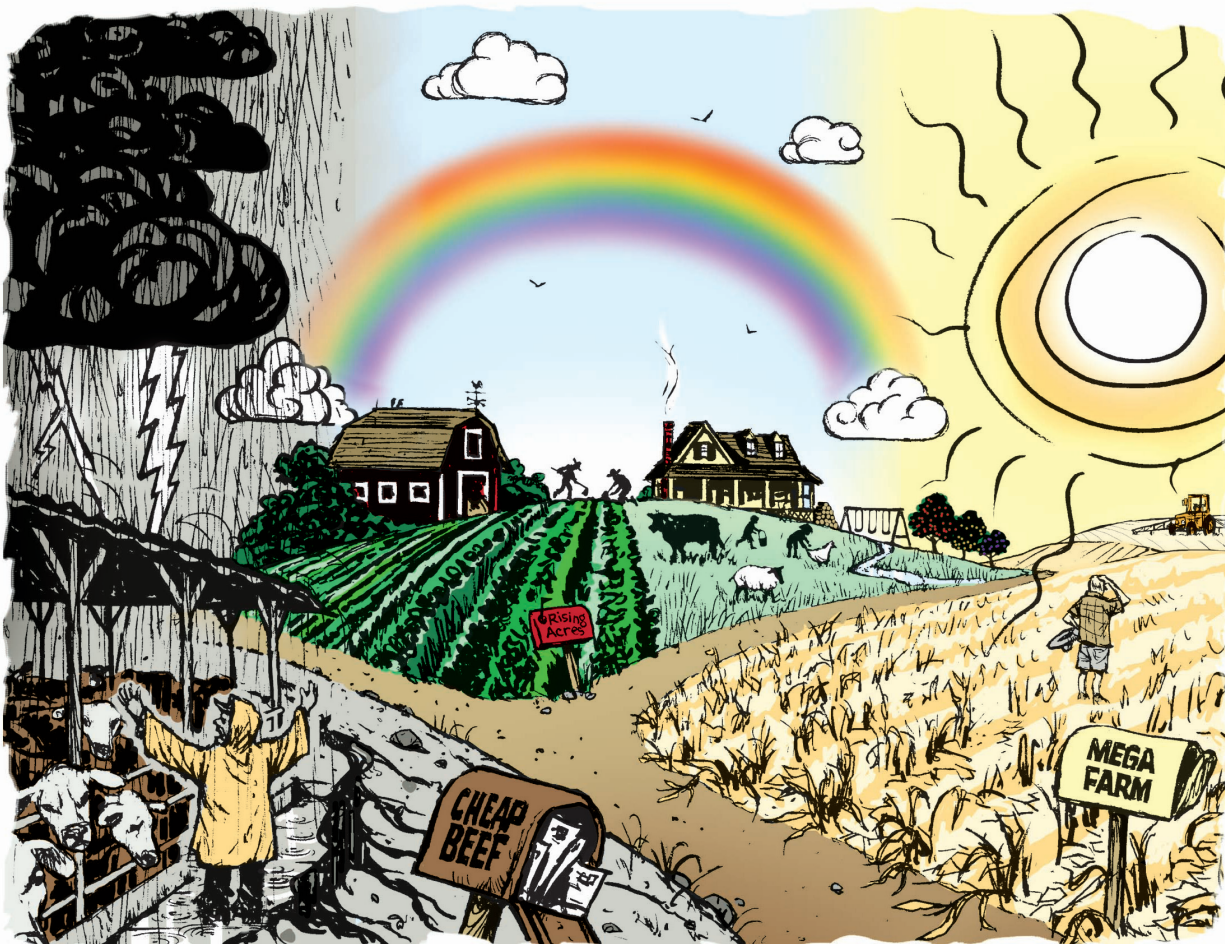


# Restitution du carbone au sol: La biologie en est-elle capable?



par **Jack Kittredge,**

Directeur des politiques, NOFA/Mass

[www.nofamass.org](http://www.nofamass.org)

Association Agricole Biologique du Nord-Est (NOFA)/Chapitre Massachusetts, Inc.

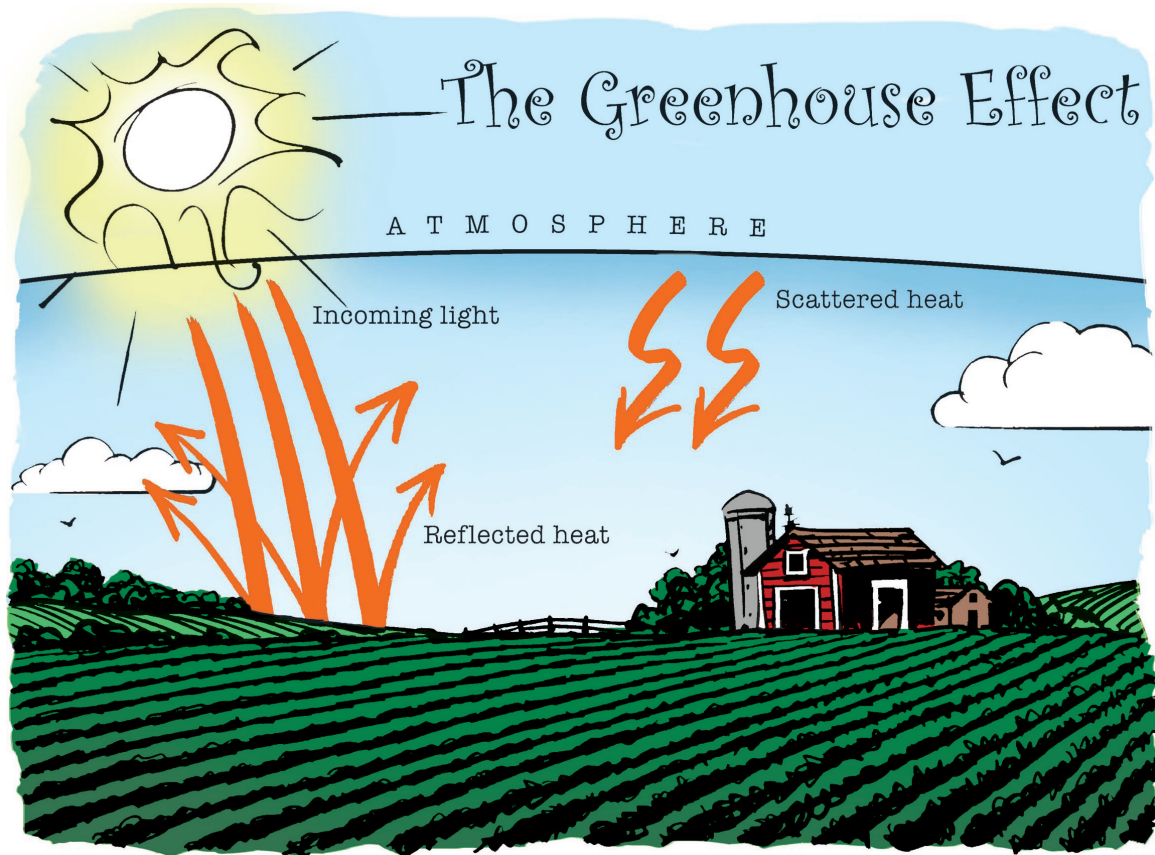
14 août 2015



Traduction fournie par Régénération International  
Lutter contre le réchauffement climatique. Alimenter la planète.

Pour obtenir plus d'information, visitez le site :  
[www.regenerationinternational.org/international-translations/](http://www.regenerationinternational.org/international-translations/)





### Introduction

Un grand nombre de discussions dans le cercle scientifique et gouvernemental ont porté sur la manière de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les températures extrêmes qu'elles ont créées. La plupart des analystes pensent que l'on doit arrêter de brûler des énergies fossiles afin d'éviter de nouvelles augmentations de carbone dans l'atmosphère et que l'on doit trouver des moyens de capter le carbone déjà présent dans l'air si nous voulons diminuer le nombre de catastrophes naturelles et les tragédies humaines associées, de dérèglements économiques et le conflit social qu'elles entraînent.

Mais où peut-on stocker ce carbone une fois capté dans l'air ? Il n'existe qu'une approche pratique : le remettre où il se trouvait, dans le sol. Par chance, ce n'est pas un procédé coûteux. Mais il nécessite l'accord d'un grand nombre de personnes y prenant part. Comme peu de gens ne modifieront pas leur comportement sans une bonne raison, nous avons écrit ce petit article. Nous espérons qu'il expliquera le problème de l'augmentation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère et du réchauffement climatique, de comment le carbone peut être capté dans l'atmosphère et enfoui dans le sol, et des avantages dont peuvent profiter les agriculteurs et les consommateurs de la culture dans des sols riches en carbone.

### Réchauffement climatique

Des anomalies météorologiques sont extrêmement difficiles à archiver. Pour ce faire, il faut disposer de données de bonne qualité sur une longue période et savoir déterminer ce qui

constitue une anomalie. Pourtant, récemment, de plus en plus de gens s'intéressent au sujet car la quantité de données et les standards ont progressé. Les facteurs clés du climat extrême sont la chaleur, les précipitations et l'humidité de l'air à des niveaux extrêmes. Des études récentes ont montré que les archives relatives aux températures moyennes mensuelles, les épisodes de précipitations extrêmes ainsi que l'humidité de l'air moyenne ont augmenté au cours des 50 à 150 dernières années. (Coumou)

La plupart des scientifiques pensent que la cause de ces épisodes extrêmes est anthropique (résultant des activités humaines) de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Des études de modélisation et des analyses des événements d'évènements météorologiques extrêmes ont montré que le changement climatique dû à l'activité humaine est un facteur aggravant dans de telles situations. (Peterson) D'après l'Association Américaine pour l'Avancement de la Science, « Basé sur une preuve bien établie, environ 97 % des scientifiques spécialistes du climat ont conclu que le réchauffement climatique provoqué par l'être humain est en cours ». (AAAS)

Comment les gaz à effet de serre provoquent-ils le réchauffement climatique ?

Les gaz à effet de serre, principalement le dioxyde de carbone mais également le méthane, l'ozone et l'oxyde nitreux, sont rejetés par le sol et l'eau depuis des millions d'années dans l'atmosphère par des processus naturels tels que la respiration animale, le gazage abondant et les rejets de bactéries à partir de la fixation d'azote. (EPA) Ces gaz sont aussi décomposés par des processus naturels et reviennent à leur

source dans un cycle continu. Tant que la quantité de gaz à effet de serre émise et que la quantité qui revient aux sources sont équilibrées, aucun changement climatique n'aura lieu.

Nous avons besoin d'un certain niveau de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ils piègent la radiation solaire pour que la terre en reflète une plus petite quantité dans l'atmosphère. Cela augmente la quantité de chaleur influençant les forces planétaires qui ont un impact sur le climat. Si nous n'avions pas de tels gaz, la Terre serait gelée toute l'année et beaucoup trop froide pour que la vie humaine soit possible. Le niveau de gaz dans l'atmosphère est mesuré dans des unités appelées « parties par millions » (ppm). L'azote, l'oxygène et l'argon, les gaz primaires de notre atmosphère, représentent ensemble 999 000 ppm. Tout au long de l'histoire humaine, le niveau atmosphérique du dioxyde de carbone a tourné autour de 228 ppm, ou moins de 0,03 %.

### **L'interférence humaine dans le cycle du carbone**

Cependant, depuis la naissance de l'agriculture il y a 12 000 ans, l'humain est à l'origine de la déforestation, des défrichages de terrains et du labourage de cultures qui ont rejeté un excès de dioxyde de carbone. En utilisant les analyses et les techniques de carotte de glace profonde, les scientifiques ont détecté des pics anciens de dioxyde de carbone et de méthane dans l'atmosphère qui correspondent en réalité à l'expansion agricole datant de milliers d'années en Mésopotamie et en Chine. (Amundson)

Plus récemment, depuis les années 1750, l'importance et le nombre de rejets de gaz à effet de serre dus à l'activité humaine ont augmenté de façon spectaculaire en raison de l'accroissement rapide de la consommation combustibles fossiles et de la plus récente industrialisation de l'agriculture. Le niveau de dioxyde de carbone présent dans l'air augmente et se situe à 400 ppm actuellement. La principale raison est qu'il y en a plus qui est émis du sol et moins y revenant.

### **La portée du problème (Pour ceux qui aiment les chiffres!)**

Remarque : les calculs dans ce secteur comprennent tous l'utilisation du système métrique, dans lequel une tonne est une tonne métrique qui pèse 1000 kilogrammes ou 2204,6 lbs. Un Gigaton (Gt) équivaut à un milliard de tonnes métriques. Un hectare équivaut à 10 000 mètres carrés ou 2,47 acres.

Les scientifiques ont estimé que nous devons réduire le niveau de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (NASA) (De nombreux chercheurs avancent la théorie qu'un objectif plus sûr serait le niveau préindustriel estimé entre 275 et 280 ppm, mais les débats publics sont majoritairement arrivés au nombre de 350 ppm.). Un ppm de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est égal à 7,8 Gt. Une molécule de dioxyde de carbone est principalement composée d'oxygène et le carbone n'en représente qu'un peu plus d'un quart (27,3 % pour être précis). Par conséquent, un ppm de dioxyde de carbone contient 2,125 Gt de carbone (pour illustrer ce chiffre, cela est l'équivalent d'un kilomètre cube de graphite solide).

Nous devrions donc vivre avec un niveau de dioxyde de carbone de 350 ppm maximum, alors qu'il est aujourd'hui à 400 ppm et continue d'augmenter. Que pouvons-nous donc faire ?

### **Supposons que nous diminuions les émissions ?**

Il n'y a aucun doute sur le fait que l'humanité dans sa globalité doit arrêter de rejeter des quantités excessives de gaz à effet de serre. On estime qu'environ deux tiers de ces émissions sont dus à notre consommation de combustibles fossiles. (Ontl) Nous devons mettre fin à notre dépendance aux combustibles fossiles et développer des sources d'énergies alternatives. Les gouvernements en sont parfaitement conscients. Des groupes internationaux ont été créés afin de poursuivre cet objectif. Il s'agit peut-être de l'un des changements les plus durs de l'histoire de l'être humain, mais nous devons trouver les politiques et mécanismes pour le réaliser si nous voulons survivre. Mais ce n'est pas notre unique problème.

Supposons que nous puissions stopper toutes les émissions demain. Les gaz à effet de serre que nous avons déjà rejeté dans l'atmosphère continueront à réchauffer la planète pendant encore des décennies et peut-être même des siècles. Le réchauffement fera fondre la glace et les sols gelés, monter le niveau des mers et rejeter de grandes quantités de gaz à effet de serre encore gelés.

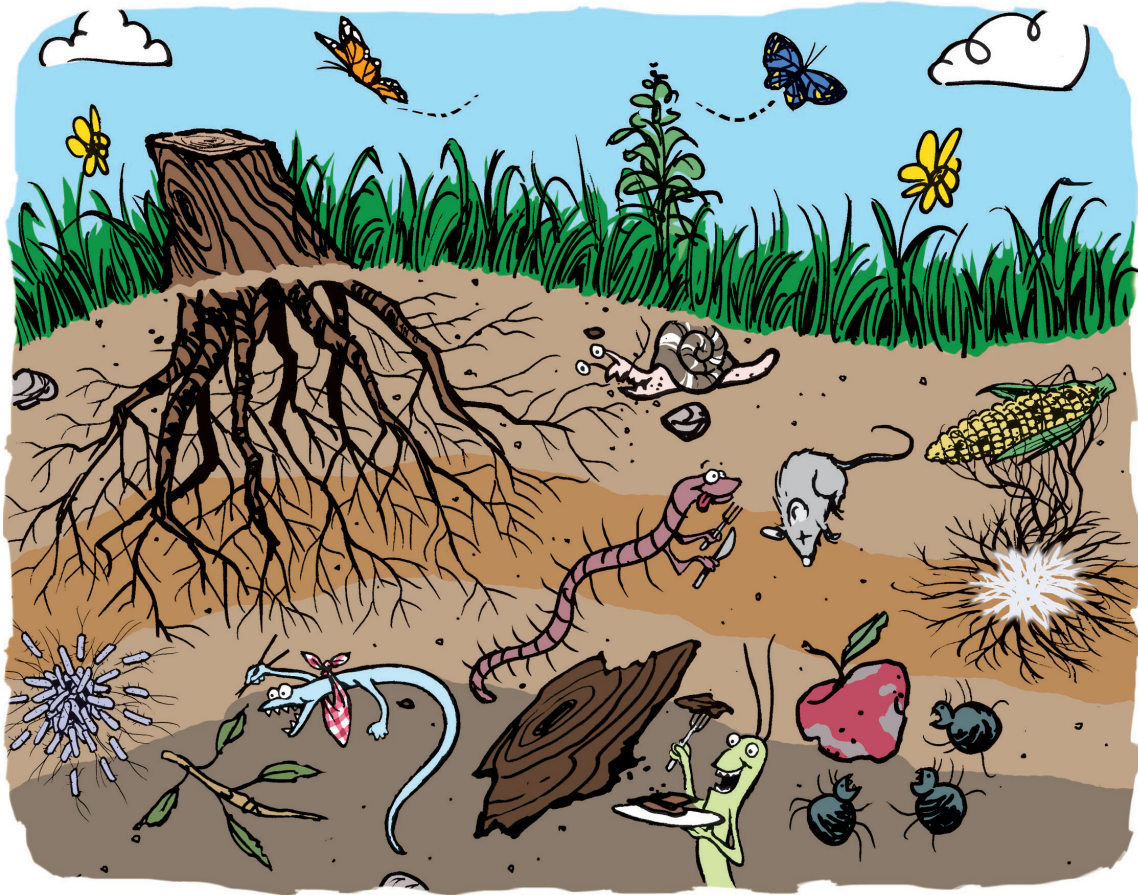
C'est un problème potentiel dans l'Arctique par exemple. Le méthane gelé, un gaz à effet de serre puissant et présent en grande quantité, peut être rejeté dans l'atmosphère lors de la fonte des glaces. Une quantité énorme de carbone est également gelée dans le permafrost. Un environnement qui se réchauffe peut l'exposer à la digestion par les microbes, auquel cas il sera rejeté sous forme de dioxyde de carbone. Si cette digestion se produit là où il n'y a pas d'oxygène, comme dans un marécage ou une zone humide, ce carbone sera rejeté par d'autres microbes sous forme de méthane. (NSIDC)

Donc réduire les émissions n'est pas suffisant. Une fois que nous avons fait cela, nous devons arrêter la montée des températures au niveau mondial. Si nous nous trouvons à environ 400 ppm de dioxyde de carbone actuellement et que nous souhaitez revenir aux 350 ppm rapidement, nous devons capter le carbone présent dans l'atmosphère et l'enterrer quelque-part. Nous devons trouver un lieu de stockage à long terme pour 50 ppm de dioxyde de carbone, ce qui équivaut à 106,25 Gt de carbone. Que pouvons-nous faire ?

### **Où pouvons-nous stocker tout ce carbone ?**

Nous ne pouvons pas stocker de manière sûre le carbone atmosphérique dans le 70 % de la planète qui est couverts d'eau. Le dioxyde de carbone se dissout dans l'eau et forme de l'acide carbonique. Depuis plusieurs décennies maintenant, nous observons les effets d'une augmentation progressive de l'acide carbonique dans nos océans. Le pH océanique a diminué et l'acidification a tué plusieurs formes de vie marine dont des crustacés, des coraux et des planctons. (NOAA)





Stocker le carbone dans le sol est encore une autre histoire. C'est de là que vient le carbone, et où il doit être. Les scientifiques estiment que depuis le nettoyage de terrains et la culture agricole au moment de la révolution industrielle, nous avons libéré 136 Gt de carbone du sol au niveau mondial. (Lal 2004) Donc, par nos défrichages et labourages, le sol a perdu plus de carbone que nous devons enfouir de nouveau. Quelle quantité de carbone le sol contient-il ? Plus, de manière générale. De plus, scientifiques estiment que dans les 30 centimètres les plus proches de la surface du sol (environ 1 pied), les sols contiennent environ 700 Gt de carbone en moyenne dans le monde. Si vous comptez tout le mètre le plus proche de la surface du sol (plus de 3 pieds), ce nombre fait plus que doubler pour atteindre environ 1500 Gt. (Powlson) De toute évidence, le sol qui a contenu tout ce carbone peut le contenir de nouveau.

Mais avant d'essayer de répondre à la question d'enfouir 106,25 Gt de carbone dans le sol, faisons une brève analyse de ce dernier.

#### La faim du carbone contenu dans le sol

Le sol est littéralement vivant. Il est rempli de bactéries, de champignons, d'algues, de protozoaires, de nématodes et d'énormément d'autres créatures. Dans une cuillère à café de sol sain, on trouve en réalité plus de microbes qu'il y a de personnes sur Terre. (Hoorman) Bien sûr, lorsqu'un être vivant fait de carbone se forme, cette communauté grouillante a besoin d'un approvisionnement continu de matière organique pour survivre. Cette matière organique (dont en-

viron 58 % de carbone) apparaît sous la forme d'organismes vivants, leurs exsudats, qui sont souvent de simples sucres et leurs résidus, souvent des hydrates de carbone tels que la cellulose. Ces composés sont riches en énergie, facilement accessible pour les organismes, et rapidement assimilés par les microbes présents dans le sol. La demi-vie de sucres simples dans les sols de surface, par exemple, peut durer moins d'une heure avant d'être consommés. (Dungait)

Cet énorme appétit des organismes de sol en carbone signifie qu'ils consomment la matière organique disponible rapidement dans des sols sains. Cette matière est ingérée par leur corps ou brûlée lors de l'émission de l'énergie et du dioxyde de carbone. Des microbes dans une acre (environ 0,4 hectares) de maïs en Iowa rejettent en réalité plus de dioxyde de carbone que 25 hommes au travail. (Albrecht) Une fois que ces microbes meurent, le carbone se trouvant dans leur corps devient disponible pour d'autres organismes afin de permettre leur décomposition et leur rejet.

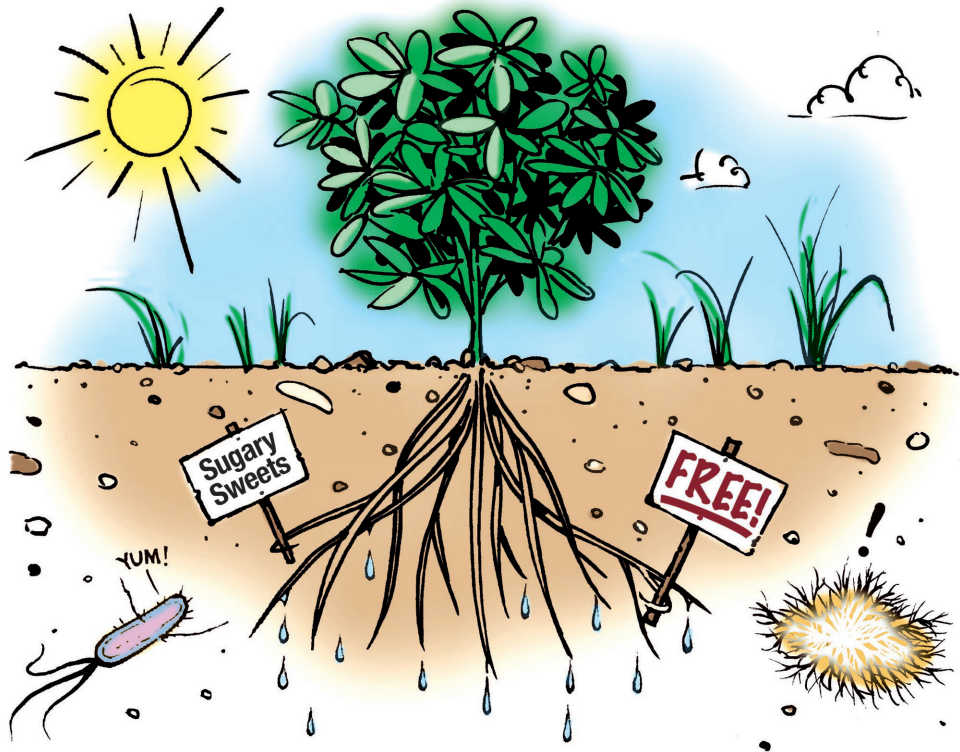
L'activité des organismes présents dans les sols suivent des cycles saisonnier et quotidien. Seulement une partie des organismes sont actifs au même moment. Sinon, ils sont à peine actifs ou en sommeil. La disponibilité des aliments est un facteur important qui influence la population et le niveau d'activité des organismes présents dans les sols. (FAO)

#### Photosynthèse

Mais si le carbone est consommé si rapidement dans le sol, pourquoi ne disparaît-il pas aussi vite ?



## Root Exudates



La réponse est que les plantes le renouvellent sans cesse. Depuis leur évolution il y a 3,5 milliards d'années, les plantes ont prospéré en utilisant leur incroyable pouvoir de transformation du carbone capté dans l'air en matière vivante. Évidemment, le processus s'appelle photosynthèse, que l'on enseigne à la plupart des enfants à l'école.

Cela fonctionne ainsi : la molécule de chlorophylle dans les feuilles des plantes leur permet d'absorber l'énergie venant de la lumière et de l'utiliser pour diviser les molécules d'eau (H<sub>2</sub>O) en atomes d'hydrogène et d'oxygène. La plante rejette ensuite ces atomes d'oxygène en tant qu'oxygène moléculaire (deux atomes d'oxygène liés entre eux – O<sub>2</sub>) dans l'atmosphère et de stocker temporairement les atomes d'hydrogène. Lors de la deuxième étape de la photosynthèse, les atomes d'hydrogène sont liés à des molécules de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) afin de créer des hydrates de carbones simples tels que le glucose de sucre (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>).

Le processus, comme toutes les réactions chimiques, est sujet à la disponibilité des composants. Comme le dioxyde de carbone est présent dans l'atmosphère à un taux de concentration très faible (0,04 % actuellement), c'est souvent le facteur qui freine le processus. (RSC) Avec des concentrations de gaz plus élevées, une plus grande quantité d'énergie sera puisée depuis la lumière disponible et plus d'eau sera absorbée par les plantes pour augmenter la production d'hydrate de carbone. (Ontl) Dans d'autres situations, comme de nuit ou lors d'une période de sécheresse, la lumière ou l'eau peuvent être le facteur limitant.

L'ampleur de ce processus est impressionnante. Un acre de

blé peut absorber en une année 4037 kg de carbone sous la forme de dioxyde de carbone, le combiner avec de l'eau et le transformer en sucre. Le sucre restant pèsera 9 979 kg. Ce processus est tellement actif qu'environ 15 % de tout le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère est capté par les organismes photosynthétiques chaque année. (SAPS)

### Exsudats racinaires

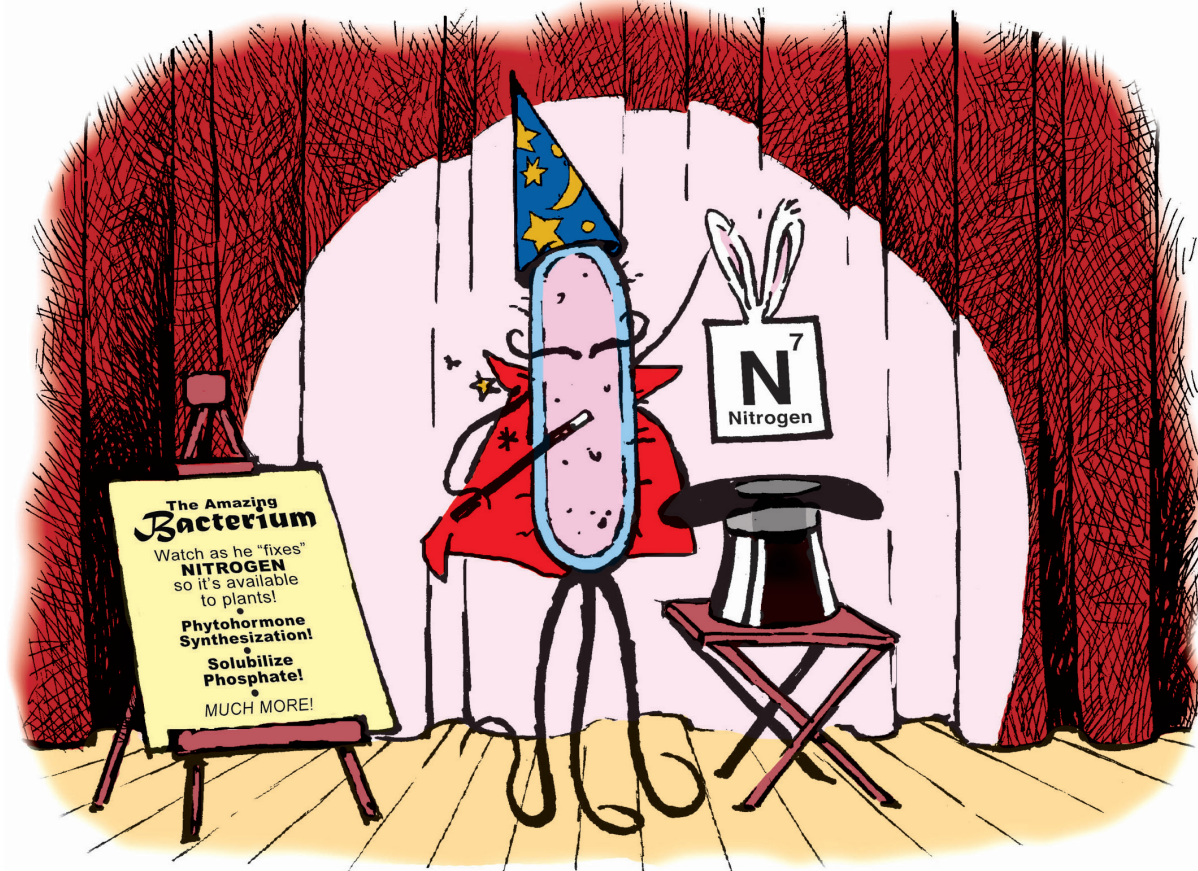
Bien sûr, la photosynthèse donne aux plantes et aux autres organismes photosynthétiques (comme les algues bleues-vertes) un rôle spécial dans la nature. Tous les êtres vivants sont composés de carbone et ont besoin d'en consommer pour survivre. Si vous pouvez capter le carbone de l'air raréfié comme le font les plantes, vous disposez d'un avantage considérable. Mais même si vous ne pouvez pas fabriquer de composés de carbone, vous devez en disposer.

Par quel autre moyen les microbes présents dans le sol obtiennent-ils du carbone ? Ils peuvent les « acquérir » !

Un des enseignements les plus remarquables que les scientifiques spécialistes du sol apprennent sur les plantes et les organismes présents dans le sol est qu'ils semblent avoir évolué ensemble dans une relation bénéfique pour les deux.

Lorsque les plantes réalisent la photosynthèse et fabriquent des hydrates de carbone dans leur chloroplaste, elles utilisent certains de ces composés pour leurs cellules et leur structure, et certains qu'elles brûlent pour produire de l'énergie utile à leur survie. Mais elles « fuient » ou exsudent une quantité significative de ces composés en tant que « carbone liquide » dans le sol. (Jones SOS) Les estimations varient mais entre

# The Magician



20 et 40 % du carbone qu'une plante a fixé par la photosynthèse est transféré à la rhizosphère (partie du sol entourant les racines). (Walker)

Pourquoi une plante rejeterait-elle de la sève sucrée dans la terre?

Pour s'en servir d'appât.

Les bactéries affamées, les champignons et les autres organismes de sol se montreront rapidement pour dévorer les exsudats de racine savoureux contenant du carbone. Mais elles en veulent rapidement plus, et le seul moyen de les obtenir est d'aider la plante à en produire plus. Si une plante est saine et forte, elle peut consacrer plus de ressources à la photosynthèse et exsuder plus de carbone. Donc les microbes aident les plantes de plusieurs manières afin de faciliter sa pousse et sa production de carbone liquide.

Comme nous en avons savons maintenant plus sur la biochimie des sols, nous avons découvert qu'à travers les exsudats de racines, les plantes peuvent contrôler une grande partie de leur environnement proche. Cela leur permet de réguler la communauté microbienne du sol proche, de se protéger des prédateurs herbivores, de trouver de grandes quantités de nutriments, de modifier les propriétés chimiques et physiques du sol environnant et de limiter la pousse de plantes se trouvant à proximité.

## Symbiose microbienne

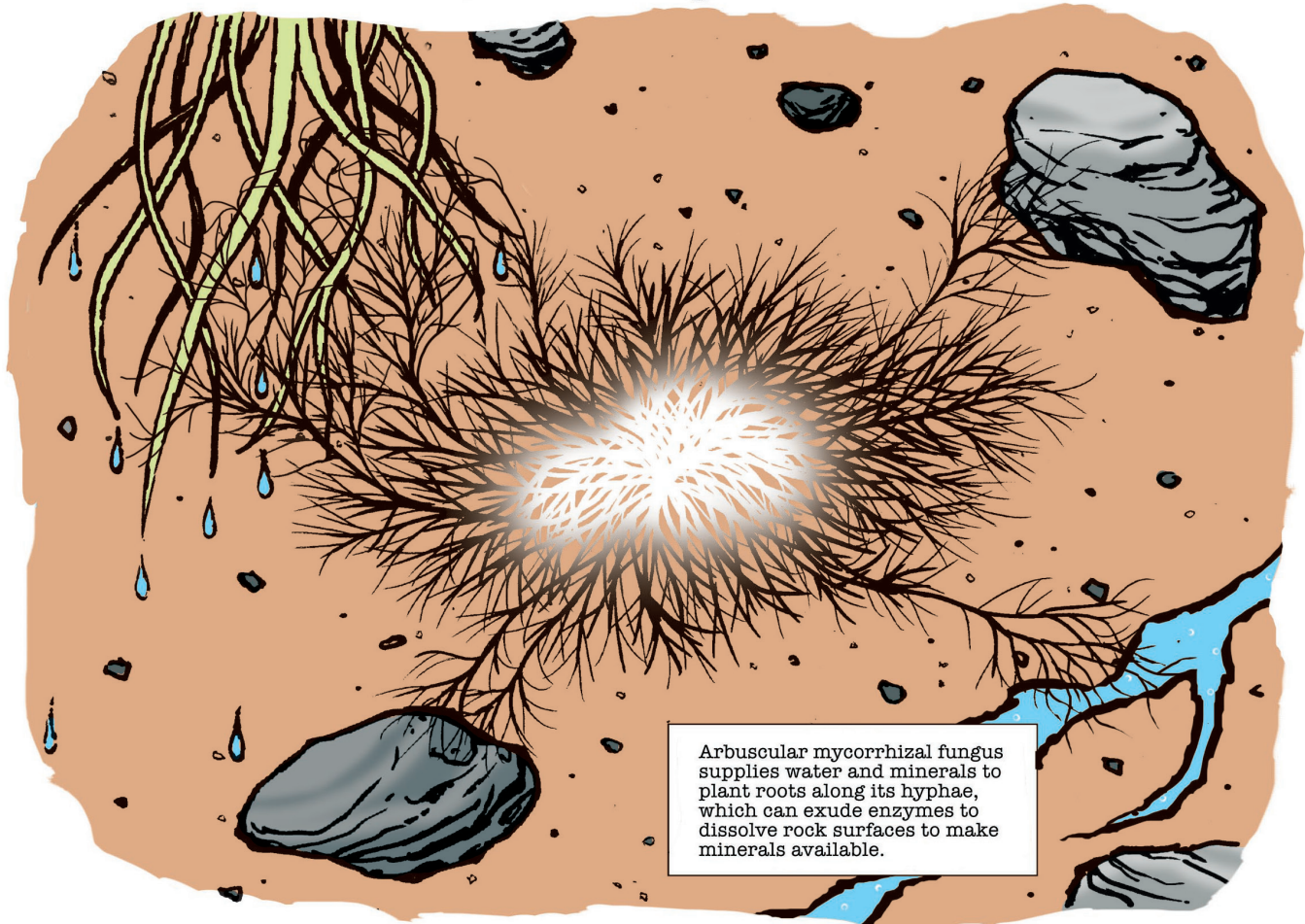
Il est nécessaire de préciser que ce qui suit est toujours à l'étude. Les sols constituent une frontière sur laquelle il reste encore beaucoup à apprendre. La communauté microbienne est extrêmement variée : entre 90 et 99 % des espèces ne peuvent même pas être cultivées en laboratoire avec les technologies courantes. (Jastrow)

La communauté microbienne est constituée de plus de 90 % de bactéries et de champignons, en masse. Le ratio exact entre ces deux types d'organismes varie. Les sols intacts tels que les prairies et les forêts bénéficieront aux champignons dont les hyphes filiformes restent inchangées. La culture ou l'utilisation de fertilisants d'azote synthétiques, cependant, réduit la population de ce champignon.

La présence ou non d'une protection physique de l'environnement immédiat est un facteur important dans le succès microbien. La protection peut être fournie par les argiles. Les scientifiques pensent qu'elles peuvent maintenir un niveau pH optimal, absorber les métabolites nocifs et/ou prévenir la dessiccation. De petits pores (pour « se cacher ») dans le substrat local sont également pensés pour protéger les petits organismes des plus gros tels que les protozoaires. (Six) On note que les organismes protégés meurent à un taux inférieur à 1 % par jour, alors que 70 % de ceux qui ne bénéficient



## Reaching Out



Arbuscular mycorrhizal fungus supplies water and minerals to plant roots along its hyphae, which can exude enzymes to dissolve rock surfaces to make minerals available.

ficient pas de protection peuvent disparaître en une journée.

### Les bactéries

Les bactéries possèdent des propriétés chimiques incroyables. Certaines d'entre elles, appelées les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (RFCP), utilisent leur magie en aidant les plantes par le biais de plusieurs procédés biochimiques. D'autres peuvent fixer l'azote de l'atmosphère et le transformer pour qu'il soit utilisable par les plantes. Un troisième groupe peut synthétiser les phytohormones qui améliorent les étapes de la pousse des plantes. Enfin, d'autres peuvent solubiliser le phosphate, un nutriment essentiel relativement insoluble et le rendre disponible pour la pousse des plantes, ou produire des fongicides pour aider les plantes à résister aux maladies fongiques. (Velivelli) Une RFCP a été isolée à partir de plantes communes comprenant le blé, le trèfle blanc et l'ail. Cette bactérie produit en réalité différents antibiotiques, substances qui combattent les pathogènes et aident les plantes à résister aux maladies. (Timmusk)

### Champignons

Le champignon mycorrhize arbusculaire est un autre exemple de symbiose microbienne. Dans cette symbiose, le champignon colonise deux environnements différents, les racines

de la plante hôte et le sol environnant, en connectant les deux grâce à une longue hyphe. Cela permet d'accueillir la plante afin d'obtenir une absorption d'eau et de nutriments minéraux acheminés le long de ces hyphes. Cette relation a été décrite dans des connections avec de nombreux minéraux, tels que le phosphore, l'azote, le zinc et le cuivre. (Jansa) Selon certaines estimations, plus de 90 % des plantes terrestres profitent de cette association avec le champignon mycorrhize arbusculaire. (Cairney)

Certains scientifiques estiment que 85 à 90 % des besoins des plantes à nutriments sont acquis par l'échange de carbone où les exsudats de racine fournissent l'énergie microbienne en échange de minéraux ou retrouvent des éléments autrement indisponibles pour la plante. (Jones SOS)

Ces relations sont bénéfiques pour les deux parties, sans connaître de perte. Le soleil fournit la seule énergie supplémentaire dont elles ont besoin, ce qui permet aux plantes maintenant plus fortes de produire plus de composés afin de stimuler et soutenir les microbes.

### Agrégats du sol

Un aspect important de cette étude est la structure du sol appelée « agrégat ». Si vous pressez une poignée de sol sain puis le relâchez, il doit ressembler à un tas de pois. Ces

derniers sont les agrégats. Si le sol reste sous forme de gros morceaux de terre dure, alors le sol n'est pas bien agrégé. Les agrégats sont assez stables pour résister à l'érosion du vent et de l'eau, mais assez poreux pour laisser passer l'air, l'eau et les racines.

Les agrégats constituent l'unité fondamentale de la fonction du sol et jouent un rôle similaire ce celui des nodules de racine pour les légumineuses, en créant un espace protégé. (Jones SOS) L'agrégat aide à former un champignon mycorhize qui crée une poche collante et filiforme qui enveloppe et enchevêtre les particules du sol. (Jastrow) Les exsudats du carbone liquide venant des racines des plantes et des champignons permettent la production de colles ainsi que de gommes qui forment les murs d'agrégats. (Jones SOS)

Une activité biologique importante a lieu à l'intérieur de ces murs, une fois de plus alimentée par les exsudats de carbone. La plupart des agrégats sont connectés aux racines des plantes, souvent des racines nourrissantes fines, ou aux réseaux de champignons mycorrhiziens trop fins pour être vus. Le contenu humide dans un agrégat est plus élevé et on trouve moins de pression d'oxygène qu'à l'extérieur. Celles-ci sont des propriétés importantes qui permettent la fixation de l'azote et la réalisation d'autres activités biochimiques. (Jones SOS)

Une des colles importantes qui assemblent les agrégats est une glycoprotéine appelée « glomaline ». La glomaline et la stabilité de l'agrégat du sol semblent être étroitement liées. (Nichols) Découverte seulement en 1996, la glomaline est maintenant connue de certains scientifiques pour représenter 27 % du carbone dans le sol et pour vivre plus de 40 ans, en fonction des conditions. On a découvert que les champignons mycorrhiziens arbusculaires produisent la glomaline en utilisant le carbone liquide qu'exsudent les plantes. Cela peut permettre à l'hyphe du champignon de se relier à la racine et aux particules du sol ainsi que de faire des passerelles dans les espaces. (Comis)

Maintenant que nous en savons plus sur le sol et comment le carbone y est absorbé par les plantes pour encourager les relations symbiotiques avec les microbes, nous pouvons poser une nouvelle fois la question :

Auquel rythme peut-on restituer assez de carbone au sol pour atténuer les épisodes de températures extrêmes ?

Nous venons de voir qu'un ppm de dioxyde de carbone dans l'atmosphère contient 2,125 Gt de carbone. Si c'est le cas, et nous sommes à un niveau de 400 ppm et devons redescendre à 350 ppm, nous devons enfouir 50 ppm, ou 106,25 Gt de carbone dans le sol.

Nous savons que le sol peut accueillir tout ce carbone car c'est de là qu'il vient. Nous avons libéré 136 Gt de carbone du sol par le défrichage et l'agriculture depuis le début de l'ère industrielle.

Mais à quelle vitesse peut-on y remettre ce carbone ? Au cours des 20 dernières années, depuis que les gens pensent à restituer le carbone au sol, de nombreuses études ont été

menées afin de mesurer le taux auquel la photosynthèse agricole peut accumuler le carbone dans le sol. Nous avons regardé un grand nombre de ces études, menées au cours des dix dernières années, traitant des différents types de sols sur les cinq continents et différents types d'agriculture. Les études utilisent différentes méthodologies et dévoilent bien sûr des résultats assez différents. Mais à partir de la lecture de ces études, plusieurs choses deviennent claires.

- Les systèmes de culture pérennes peuvent restituer plus de carbone que la plupart des autres méthodes agricoles. Tous les essais basés sur la pâture rapportent des quantités de carbone exceptionnellement élevées, de 1,9 à 3,2 tonnes métriques de carbone par acre (0,4 hectare) chaque année, avec une moyenne de 2,6 tonnes. (Machmuller, Rodale, IF-OAM) Nous avons trouvé quelques études sur les systèmes de culture pérenne accumulent de grandes quantités de carbone, mais il existe des preuves montrant que les cultures ligneuses peuvent aussi le faire. Une d'entre elles dévoile que les sols minés dégradés ont gagné 2,8 tonnes métriques de carbone par acre et par an quand des acacias légumineux sont plantés et gérés comme une culture de biomasse en taillis dans un système de rotation court. (Quinkenstein) Davantage d'études doivent être réalisées avant de pouvoir totalement évaluer les contributions des cultures ligneuses ou herbacées pour restituer le carbone du sol.

- L'utilisation d'engrais chimiques synthétiques, en particulier l'azote et le phosphore, réduira sérieusement ou éliminera même dans de nombreux cas toute accumulation de carbone de sol. L'utilisation appropriée de fumier et de composte, cependant, ne semble pas empêcher l'augmentation de la quantité de carbone de sol. (Jones SOS, Rodale)

- Des études portant sur les cultures en rangs, même lorsqu'elles sont utilisées sans produits chimiques synthétiques, montrent les gains de carbone sont plus faibles que les pâtures, allant de 0,23 tonne à 1,66 tonnes par acre, avec une moyenne de 0,55 tonnes. (Khorramdel, IFOAM)

- La qualité des pratiques agricoles étudiées était variable, particulièrement pour les essais en culture en rangs. Apparemment, toutes les études portant sur la culture en rangs révélant des gains significatifs étaient ceux utilisant du fumier ou du composte au lieu d'engrais chimiques. Mais l'étendue à laquelle d'autres principes d'accumulation de carbone tels que la retenue du sol couvert de plantes tout le temps, en utilisant un large mélange de cultures de couverture et minimisant la culture était n'est pas claire. Il est cependant nécessaire de préciser que dans le cas des gains en carbone les plus importants en culture en rangées, qui restituent 1,66 tonne par acre de maïs, des pratiques sans labourage biologique ont été utilisées. (Khorramdel)

Avec ces moyennes d'essais, faisons les premiers calculs sur le potentiel de l'agriculture pour restituer 106,25 Gt de carbone au sol.

La FAO déclare qu'il y a 8,3 milliards d'acres 'environ 3,36 milliards d'hectares de prairies dans le monde et 3,8 milliards d'acres (environ 1,5 milliards d'hectares) de terres agricoles. Si tout le monde souhaitait utiliser des pratiques



d'accumulation de carbone sur ces acres sur une base annuelle, les prairies pourraient restituer, à une moyenne de 2,6 tonnes par acre, pourrait restituer 21,6 Gt et les terres cultivées, à une moyenne de 0,55 tonne par acre, pourraient restituer 2,1 Gt. Cela nous donne un total de 23,7 Gt par an. Comme nous avons comme objectif de remettre 106,25 Gt, cela signifie que nous pourrions le faire en 5 ans !

### **Carbone stable**

Bien sûr si nous voulons remettre une grande quantité de carbone dans le sol, nous devons le faire pour que les microbes ne les consomment pas. Autrement, ils les consommeraient et les rejetteraient directement sous forme de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. De nombreuses études ont analysé dans traitements pour la matière organique du sol pour voir s'ils les aidaient à les préserver. Une étude menée sur une période de 10 ans a comparé l'incorporation de résidus de matière organique sur une parcelle et leur suppression d'une parcelle similaire. Une autre a duré 31 ans et comparé différentes rotations et applications d'engrais sur plusieurs parcelles, atteignant une quantité de carbone remise dans le sol de 50 % Une troisième étude a comparé une parcelle où les résidus de cultures ont été brûlés pendant des années avec une autre où les résidus ont été incorporés au sol. Au terme de chacune de ces études, les chercheurs mesurant la matière organique du sol n'ont pu trouver aucune différence significative parmi les parcelles malgré des types de gestion différentes. (Kirkby)

Si les microbes se multiplient et consomment tout le carbone présent, vous ne pourrez jamais accumuler des plus grandes quantités dans le sol. Et pourtant, historiquement, les niveaux de matière organique de 6 à 10 % étaient communs, et des pourcentages atteignant 20 % ont été mesurés. (LaSalle) Qu'est-ce qui a empêché la décomposition de la matière organique dans le passé ?

Une forme de carbone qui semble rester stable pendant des années, voir des siècles, est l'humus. Il est composé de molécules complexes contenant du carbone, mais il n'est pas facilement séparable par la vie présente dans le sol. Les scientifiques ne sont pas totalement d'accord sur la manière dont il se forme et comment il résiste à la décomposition. Certains d'entre eux pensent que l'humus est une forme hautement récalcitrante de carbone formé par la décomposition microbienne de racines et de produits issus de racines. (Ontl)

D'autres pensent que les mécanismes permettant la préservation physique du carbone de sol implique soit sa capacité à résister aux attaques d'enzymes microbiennes par l'absorption sur des minéraux, soit dans les agrégats de sol. La première théorie suggère que le lien chimique avec les particules d'argile ou avec les colloïdes du sol sont assez forts pour résister aux attaques des enzymes menaçantes. La seconde suggère une protection des molécules d'une attaque d'enzymes en gardant l'oxygène ou d'autres éléments en décomposition de l'agrégat du sol. Une autre théorie concerne l'inaccessibilité du carbone présent dans le sol à l'attaque microbienne en raison de sa profondeur dans le sol. (Dungait)

En revanche, une théorie se développe parmi certains scientifiques, qui avancent le fait que le carbone n'est pas le résultat de résidus de matière organique du sol mais de carbone liquide lui-même. Cette théorie considère l'humus comme une création accumulée par les organismes du sol, au lieu d'un produit issu de la décomposition de matière organique. (Meléndrez, lettre de Jones)

Les études soutenant cette théorie suggèrent que l'humus est un complexe organo-minéral composé d'environ 60 % de carbone, entre 6 et 8 % d'azote, et qu'il est chimiquement lié au minéraux des sols comprenant le phosphore, le soufre, le fer et l'aluminium. Il existe même des preuves démontrant que la composition de l'humus est basée sur des ratios spécifiques parmi ses principaux composants, et pas seulement entre le carbone et l'azote mais aussi entre le carbone et le soufre. (Kirkby) Un chercheur maintient que l'humus peut seulement se former dans des niches écologiques de sols, tels que les agrégats, où l'azote est activement fixé et où le phosphore et le soufre sont solubilisés (Jones letter).

### **Comment peut-on restituer le carbone au sol et le stabiliser ?**

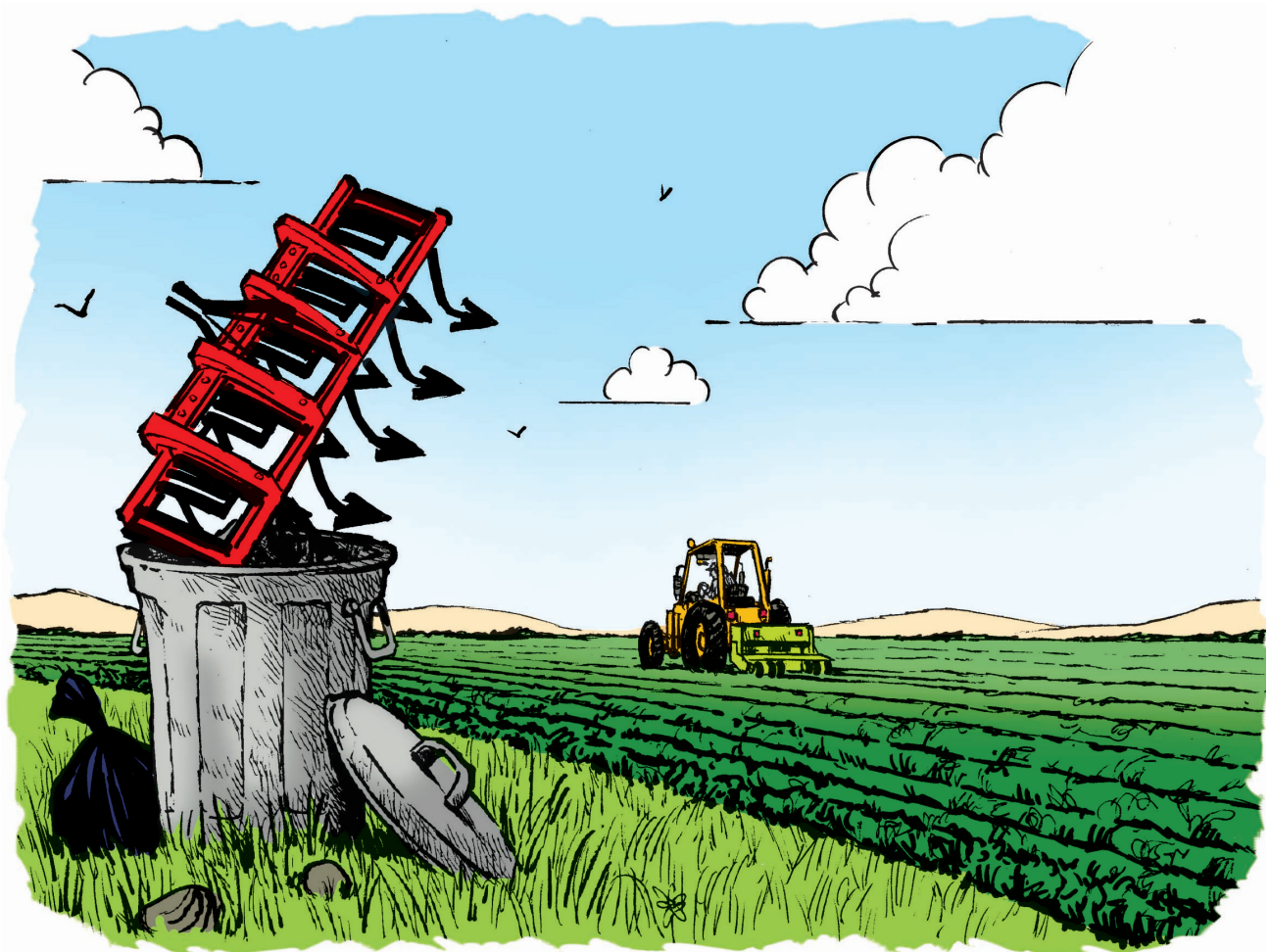
Comme les scientifiques spécialistes du sol en apprennent plus sur les composants et les processus microbiens qui forment l'humus, nous aurons une meilleure compréhension de comment assister sa création. En revanche, il existe une preuve suggérant que l'accumulation de matière organique du sol n'est pas seulement une question d'ajout de matière organique dans le sol. Cela créera également une communauté microbienne en pleine expansion et pourra permettre la floraison des cultures. Mais pour accumuler le carbone sur du long terme, vous devez en faire davantage.

Nous devons avant tout savoir quelles pratiques nous devons utiliser pour accumuler et garder le carbone dans le sol ?

### **Garder des plantes sur le sol**

La leçon la plus importante est probablement que le sol dénudé oxyde le carbone, alors que les plantes le protègent. Les plantes vertes forment une barrière entre l'air et le sol, ralentissant le processus de l'émission de carbone des microbes. L'érosion du vent et de l'eau constitue également un ennemi majeur du carbone du sol et les plantes qui poussent sont votre meilleure protection contre l'érosion. Enfin, les plantes ne protègent pas seulement le carbone du sol mais elles en ajoutent aussi grâce au phénomène de la photosynthèse. Présenté simplement, chaque mètre carré de sol exposé, qu'il soit situé entre les rangs de cultures, parce que vous labourez un champ, ou seulement fait une récolte et laissez le terrain en jachère, réduit votre compte en banque de carbone.

Des pratiques telles que la végétation hivernale pour couvrir le sol et le sous-ensemencement avec les légumineuses et des cultures de couverture sont importants pour qu'après la récolte, il y ait une couverture productive afin d'augmenter le carbone du sol, protéger de l'érosion, nourrir les organismes du sol et augmenter l'agrégation. (Azeez)



### Minimiser le labourage

Une des pratiques d'enfouissement du carbone les plus difficiles à adopter pour les cultivateurs biologiques est de réduire la culture. Comme les cultivateurs biologiques n'utilisent pas d'herbicides, la culture du sol est leur plus grande arme contre les mauvaises herbes. Cependant, la culture cause des dommages. Premièrement, elle remue le sol vers la surface et l'expose à l'air, oxydant le carbone dans le sol exposé. Deuxièmement, la culture déchire et détruit l'hyphe du champignon mycorhize, les microbes responsables d'une grande partie de la symbiose qui est si importante pour la vigueur de la plante et l'exsudation du carbone liquide. Leur hyphes représente le réseau de filaments délicat qui s'infiltrer dans le sol et fournit l'eau et les nutriments aux racines des plantes. Des études montrent des augmentations de la biomasse de champignons partout où la culture est réduite. (Six) Troisièmement, les agrégats de sol complexes que les exsudats microbiens ont accumulé afin de protéger les importantes transformations chimiques telles que la fixation d'azote et la stabilisation du carbone seront endommagés par la culture. Quatrièmement, la culture a tendance à détruire les espaces poreux du sol qui sont vitaux pour retenir l'air et l'eau, ce qui favorise la vitalité microbienne. Enfin, la culture elle-même implique des équipements fonctionnant avec des combustibles fossiles, rejetant des gaz à effet de serre dans leur opération.

Des études montrent que les systèmes de culture biologique possédant les niveaux de restitution de carbone les plus élevés sont ceux qui pratiquent le semis-direct et ajoutent beaucoup de matière organique, telle que le fumier de vache, au sol. (Khorramdel) Des critiques du rapport sur le travail du sol montrent que même une opération de culture après plusieurs années peut résulter en une perte d'une grande partie du carbone accumulé pendant cette période. (Lal 2007)

Il existe d'autres études qui avancent le fait que les gains de carbone du sol sans labourage ne sont pas distribués en profondeur dans le sol, mais plutôt près de la surface. Cela représente un problème, d'après eux, car les meilleures conditions pour la formation de l'humus et la stabilisation du carbone à long terme semblent être plus profondes dans le sol, plus proche de l'argile et des minéraux sur lesquels le carbone peut se fixer pour résister à l'oxydation. Ils avancent également l'hypothèse que cette sorte de matière organique du sol produite sous la gestion sans labourage est uniquement incorporée dans la fraction du sable/sol près de la surface et s'oxyde facilement lors d'une perturbation finale. (Azeez)

Certaines études qui pointent du doigt le caractère superficiel de l'accumulation de matière organique sans labourage, rapporte également qu'un approfondissement lent de la matière organique du sol après 10 à 15 ans sous le système, probablement à cause de la décomposition de la matière organique et



le mélange du sol à long terme par de plus gros organismes de sol. (Powelson)

Il existe plusieurs systèmes et appareils qui sont actuellement conçus pour les producteurs biologiques afin de réduire le labourage. Les planteurs ne sont prêts à ouvrir le sol que pour déposer la graine ou le semis et le refermer juste après. Des ont été désignés ceux qui retournent et sertissent une grande culture de couverture équeutée avant la floraison, l'éliminant mais sans perturber le sol. La culture vivrière est donc plantée juste dans le chaume de la couverture. Sans le moindre doute, d'autres idées pour permettre aux agriculteurs de combattre les mauvaises herbes sans pour autant empêcher le développement du sol. Il faut certainement plus de progrès dans ce sens.

Une méthode alternative de contrôle des semences est que l'utilisation de paillis pour éviter que la lumière les atteigne. Les paillis les plus simples à appliquer sont les feuilles en plastique. Leur production, en revanche, nécessite généralement des combustibles fossiles et les enlever peut être compliqué et prendre du temps. Le paillage avec des matières organiques telles que le foin ou les résidus de culture broyés ajoute de la matière organique décomposée au sol et accumule le carbone. En revanche, dans des sols biologiquement actifs, cela nécessite des ajouts perpétuels de matière qui peuvent se révéler longs et coûteux. Le principal inconvénient du paillage, cependant, est qu'il ne capte pas le carbone dans l'atmosphère et ne le fixe pas au sol par la photosynthèse, comme le font les plantes.

### **Cultures de couverture**

Les cultures de couverture sont essentielles dans une stratégie biologique pour réduire ou éliminer le labour, les herbes de contrôle et accumuler le carbone du sol. Les candidats idéaux pour les cultures de couverture peuvent être tuées (par le gel, la tonte, le broyage) avant la floraison, pour qu'elles ne produisent pas de graines et deviennent des semences elles-mêmes. Leur photosynthèse est une importante source de carbone de sol lors de leur présence et leur biomasse devient disponible après leur disparition. Les légumineuses sont importantes pour le mélange de culture de couverture, car sont des plantes profondément enracinées comme l'ivraie ou le seigle qui amènent des nutriments des couches profondes du sol et rajouter de l'azote et du carbone dans ces couches plus profondes.

En plus de l'augmentation du carbone du sol, les cultures de couverture réduisent la lixiviation de l'azote et luttent contre l'érosion du vent et de l'eau. Elles améliorent la structure du sol, augmentent l'infiltration du sol et réduisent l'évaporation. Elles fournissent également des niveaux plus élevés de lignine que la plupart des plantes cultivées, donc soutiennent la croissance du champignon mycorhizien et les produits de ce dernier tels que la glomaline qui favorise le lien entre les particules du sol. (Rodale, Azeez)

### **Diversité et la rotation de la culture**

Une des clés pour soutenir la vie microbienne dans le sol est de favoriser la diversité. Un principe de la nature semble être que plus de diversité il y a dans un système, plus il est sain et résistant. C'est également vrai lorsqu'on accumule du carbone de sol. (Lal 2004) Sous le sol, la biodiversité permet à chaque microbe de remplir une niche dans le réseau de nourriture comprenant des champignons, des algues, des bactéries, des vers de terres, des termites, des fourmis, des nématodes ou encore des scarabées. Sur le sol, les monocultures invites les parasites et les maladies où la diversité de la culture permet de limiter les infestations. Cela s'applique aux cultures et aux cultures de couverture, qui devraient contenir de nombreuses plantes de différents types : Ffeuillage et herbe, légumineuses et non-légumineuses, temps froid et chaud, humide et sec. Peu importe les conditions, certaines devraient être capables de prospérer et de photosynthétiser. « Les cocktails de cultures de couverture » sont des mélanges de nombreuses variétés de graines de culture de couverture et sont maintenant disponibles à la vente pour garantir la biodiversité.

La rotation des cultures favorise aussi la biodiversité. Des rotations avec des cultures de couverture continues éliminent le besoin en périodes de jachère pour rafraîchir le terrain et augmenter l'activité des enzymes de sol. La biomasse microbienne est plus importante lorsque les légumineuses sont incluses dans la rotation. (Six)

Les ruminants de pâture représentent également un moyen commun pour les fermes biologiques pour faire augmenter les niveaux de matière organique du sol. La pâture elle-même favorise la croissance, puis le rejet des racines d'herbes, ce qui fournit du carbone afin de nourrir les microbes du sol affamés. Les systèmes de pâture et pérennes, s'ils sont gérés correctement, peuvent connaître une croissance rapide en matière organique. Le fumier animal est un des produits les plus efficaces pour les petites fermes mixtes. Il est riche

### **Aucun produit chimique**

L'utilisation de produits chimiques agricoles synthétiques détruit le carbone du sol. Les toxines telles que les pesticides sont létales pour les organismes du sol, qui jouent un rôle crucial dans la croissance de la vitalité et de la photosynthèse des plantes. Les fertilisants ont également montré qu'ils peuvent diminuer la quantité de matière organique du sol. Au cours des tests concernant l'utilisation de fumier composté avec des rotations de culture de l'Institut Rodale, lors desquels du fumier pendant dix ans a eu pour résultat des gains de carbone à hauteur de 1,0 tonne par acre et par an. L'utilisation d'engrais synthétiques sans rotations cause en revanche des pertes de carbone de l'ordre de 0,15 tonnes par acre (environ 0,4 hectares) et par an. (LaSalle)

Les Morrow Plots (littéralement « parcelles du lendemain ») de l'Université de l'Illinois ont représenté le test de ferme contrôlée le plus long de l'histoire. Les chercheurs ont analysé des données vieilles de 50 ans sur ces terrains sur



lesquels un total de 90 à 124 tonnes de résidus de carbone par acre a été ajouté, mais qui ont aussi utilisé une technique de fertilisation à base d'azote synthétique. Ces parcelles ont perdu en réalité presque 5 tonnes de matière organique du sol par acre au cours de la période d'essai. (Khan)

Une cause possible de l'impact négatif des engrais synthétiques sur le carbone du sol est le fait qu'ils ont tendance à réduire la taille et la profondeur des racines des plantes car ils sont concentrés dans une couche superficielle à la surface du sol, et non pas éparpillés dans le sol comme le seraient les nutriments issus des légumineuses, minéraux et autres sources naturelles. (Azeez) Une autre raison pourrait être l'impact sur la plante des ions d'ammonium absorbants qui causent le rejet des ions d'hydrogène qui acidifient le sol. (Hepperly) Une troisième possibilité est représentée par l'azote libre qui provoque une quantité moins importante de carbone liquide que la plante exsude pour obtenir de l'azote à partir des microbes. En revanche, si vous utilisez des engrais à base d'azote synthétique, et voulez arrêter, alors il peut être judicieux de réduire la quantité sur trois ou quatre ans car cela prendra du temps pour les bactéries qui fixent d'azote de s'accumuler dans votre sol. Arrêter le sevrage brutal peut donner comme résultats des rendements décevants la première année. (Jones SOS)

#### Pâture

Nous avons remarqué plus tôt que la pâture bien utilisée est une méthode hautement efficace d'agriculture pour restituer le carbone du sol. Une étude récente de terre passée de culture en rangs à une gestion en pâture intensive a montré une accumulation de carbone remarquable à hauteur de 3,24 tonnes par acre et par an. C'est dans la variété des herbes africaines aux racines profondes plantées dans les savanes d'Amérique du Sud que l'on a atteint des taux de 2,87 tonnes de carbone par acre et par an. (Machmuller)

Une des raisons pour lesquelles la pâture est efficace pour fixer le carbone est sûrement liée au fait que différentes herbes utilisent le processus chimique photosynthétique C4, qui a évolué séparément du processus plus commun C3. Particulièrement adaptée aux situations de faibles quantités d'eau, de forte luminosité et hautes températures, la photosynthèse C4 est responsable de 25 à 30 % de la fixation totale de carbone sur terre, malgré son utilisation par seulement 3 % des plantes à fleurs. (Muller)

Certaines personnes sont préoccupées par la forte augmentation du nombre d'animaux ruminants car dans le processus de digestion, ils utilisent des bactéries dans leur panse qui émet du méthane, un gaz à effet de serre que l'animal rejette ensuite. Dans un cadre écologique, cela ne représente pas un problème en tant que bactérie méthanotrophe, qui vit dans une grande variété d'habitats et se nourrit uniquement de méthane et qui le métaboliseront rapidement. En réalité, après la marée noire de la plateforme pétrolière Deepwater



Horizon dans le golfe de Mexico, quelques 22 000 tonnes de méthane sont remontées à la surface sous forme de bulles mais ont été rapidement consommées par une des bactéries méthanotrophes dont la population a explosé. C'est seulement quand les ruminants se trouvent loin de sols ou de points d'eau biologiques, tels que les parcs d'engraissement ou sur des sols où les produits chimiques synthétiques ont été lourdement appliqués, que les émissions de méthane qu'ils rejettent peuvent être une préoccupation. (Jones SOS)

### **Les forêts**

Transformer les sols dégradés en forêts est une solution qui a été proposée pour accroître la quantité de carbone du sol. Comme avec d'autres plantes, le taux de restitution de carbone du sol dépend du climat, du type de sol, des espèces et de la gestion des nutriments. Les études ont démontré que le carbone du sol dans les forêts montrent généralement des gains en quantité et dans certains, une perte nette. (Lal 2004) Cependant, il existe des scientifiques qui avancent la théorie selon laquelle une bonne gestion des plantes ligneuses peut également permettre de gagner des quantités considérables de carbone de sol. (Quinkenstein) De plus, le reboisement peut mener à d'autres techniques de régulation du climat et de rétablissement du cycle de l'eau.

### **Charbon à usage agricole**

Le potentiel de l'utilisation de résidus pour améliorer la fertilité du sol tout en y restituant du carbone a récemment provoqué un intérêt accru. En montrant du doigt la terre noire d'Amazonie, les terres noires anthropogéniques enrichies de résidu carboné il y a plus de 800 ans, les partisans de cette technique citent le niveau élevé de fertilité que ces sols ont aujourd'hui. D'autres sols contenant du résidu carboné sont les Mollisols, sols dérivés des prairies qui produisent une part importante des récoltes de grains au niveau mondial très présents en Amérique du Nord, Ukraine, Russie, Argentine et Uruguay Le résidu présent dans ces sols a été attribué à des feux de prairie qui ont eu lieu il y a longtemps. La recherche concernant la véritable composition chimique de ces résidus est très récente. Leur stabilité et leur fertilité peuvent être liées à leur habitat protecteur d'espaces internes qui leur fournit des microbes ou à la structure moléculaire des résidus carbonés, qui crée une capacité d'échange importante de cations (capacité de garder des ions de minéraux indispensables pour la nutrition des plantes). (Mao)

Bien que l'on n'ait pas encore étudié en détails le biocharbon, les chercheurs pensent que le carbone de biomasse transformé en biocharbon peut retenir environ 50 % de son carbone initial dans le sol pendant de longues périodes. Cela conduit à un carbone de sol plus stable et qui y reste plus longtemps que dans le cas d'une application directe de carbone non calciné sur le terrain. (Dungait)

Bien sûr, toute transformation de carbone en biocharbon doit inclure une évaluation du cycle de la vie concernant la source du carbone, les conséquences de son utilisation sur le terrain et l'énergie consommée lors de sa transformation

et son application. Cependant, il existe certaines indications qui indiquent que le biocharbon est un bon moyen de fournir plus de stabilité à la matière organique du sol labile ou décomposée. (Powlson)

### **Les bénéfices de la restitution du carbone au sol**

Les avantages de l'accumulation de matière organique dans votre sol ne se limite pas à diminuer la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

### **L'eau**

Davantage de carbone du sol accumule l'agrégat, qui en retour agit en tant qu'éponge pour permettre au sol de retenir l'eau, donc de fournir des réserves aux racines des plantes lors de périodes de faibles précipitations et en tant qu'évacuation en périodes d'excès de précipitations. La capacité à retenir l'eau réduit aussi le risque d'érosion et peut avoir pour résultat une meilleure qualité de culture et de meilleurs rendements. Certains producteurs trouvent que les plantes compagnes ou une culture de couverture utiliseront toute l'eau et tous les nutriments disponibles. Au contraire, aider les microbes du sol avec une grande diversité de plantes améliore en réalité l'acquisition de nutriments des cultures ainsi que la rétention d'eau. (Jones SOS)

Il est intéressant de noter que depuis les années 1930, les niveaux maximum et minimum du Mississippi ont connu des niveaux d'inondations plus élevés et des niveaux du fleuve plus bas. Cela peut s'expliquer car l'eau ne peut pas s'infiltrer dans le sol comme elle le devrait. Avec une bonne infiltration, une partie de l'eau approvisionne la production de plantes et une autre partie s'écoule lentement à travers le sol pour alimenter les sources et les cours d'eau qui fournissent un écoulement à long terme vers les fleuves et rivières. Mais si la couverture du sol est pauvre, l'agrégation du sol diminue et l'eau ne peut pas correctement s'infiltrer. Par conséquent, l'eau s'écoule le long de la surface lors d'inondations et érode le sol. Lors de sécheresses, il n'y a pas d'approvisionnement retenu dans le sol pour les plantes ou pour maintenir l'écoulement jusqu'aux sources et aux cours d'eau. (Jones SOS)

### **Prédominance du champignon**

Les scientifiques pensent qu'un ratio élevé de champignons et de bactéries dans le sol est très important pour la production de la plante. Vous pouvez déterminer si vous avez un ratio élevé par l'arôme d'une poignée de terre si celle-ci sent le champignon et non pas l'aigre. Ce sont les champignons qui cherchent et fournissent l'eau ainsi que les nutriments nécessaires aux racines des plantes. Malheureusement, la plupart des sols agricoles possèdent plus de bactéries que de champignons. Pourtant, les pratiques qui éliminent les sols dénudés et ne labourent pas, utilisent des cultures de couverture de plusieurs espèces. De plus, elles favorisent le pâturage à haute densité mais sur de courtes périodes avec des périodes de repos importantes, ce qui conduit à transformer le sol vers une prédominance champignonneuse.

### De meilleures cultures

Les plantes, tout comme les animaux, ont développé des moyens de défense complexes contre les ennemis. Leurs mécanismes sont nombreux et astucieux. Certains d'entre eux évitent d'être détectés en adoptant des défenses visuelles en se faisant passer pour d'autres plantes ou en se camouflant. D'autres rendent les attaques difficiles en revêtant des armures telles que des parois cellulaires épaisses, des cuticules cireuses ou des écorces dures. D'autres encore dissuadent les prédateurs par le biais de ronces, d'épines ou d'exsudats collants. De nombreuses plantes synthétisent les métabolites secondaires pour prévenir des attaques de manière chimique (poisons, répulsifs, irritants, ou même des composés organiques volatiles qui attirent les ennemis des prédateurs de la plante). (Wink) Les plantes mettent également en place des relations symbiotiques avec les bactéries qui sont capables d'inhiber des pathogènes locaux et de donc défendre les plantes contre les attaques.

De telles capacités, comme c'est aussi le cas pour les systèmes immunitaires des animaux, sont plus fortes lorsque la plante est en bonne santé. Cette santé est optimale quand la plante répond à tous ses besoins en termes de lumière du soleil, nutrition, eau, oxygène et dioxyde de carbone. Bien entendu, cela se produit plus facilement dans un sol sain avec un taux de carbone élevé et une population de microbes importante et diverse. Ces conditions peuvent mener les cultures à disposer d'une grande densité de nutriments, à une bonne résistance aux parasites et aux maladies ainsi qu'à plus d'antioxydants et une durée de vie plus grande. (Gosling, Wink, Reganold)

Les plantes qui ne sont pas ralenties par la maladie ou les prédateurs et ont accès aux nutriments dont elles ont besoin connaîtront une forte croissance et donneront des rendements abondants. De plus, les plantes en bonne santé biosynthétisent plus de molécules volatiles et de métabolites qui produisent les saveurs et arômes des cultures d'aliments.

Donc la restitution du carbone des sols est une manière pour les agriculteurs de bénéficier de rendements plus élevés, aux jardiniers d'avoir des aliments avec plus de saveur, et aux consommateurs de disposer d'aliments plus sains.

### Conclusion

Utiliser la biologie pour restituer la matière organique aux sols et la stabiliser n'est pas seulement bénéfique pour ceux qui travaillent la terre et cultivent des aliments mais c'est aussi vital pour notre société. Nous avons libéré trop de carbone présent dans le sol, nous l'avons brûlé et rejeté dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone. Même si nous arrêtons de brûler des combustibles fossiles demain, les gaz à effet de serre déjà relâchés continueront à faire augmenter les températures au niveau mondial et à libérer plus de gaz nocifs encore longtemps.

Si nous voulons continuer à vivre sur cette Terre, nous n'avons pas d'autre choix que de restituer le carbone au sol. Cela est possible grâce à la biologie, et utiliser une méthode qui a fonctionné pendant des millions d'années se révèle être enthousiasmant. Les agriculteurs, jardiniers, propriétaires de terrains, paysagistes et tous ceux qui possèdent ou gèrent des terrains, peuvent suivre ces principes simples. Mais en plus de restituer le carbone au sol, ils peuvent également aider à rétablir le merveilleux système que la nature a mis en place pour renouveler notre atmosphère tout en fournissant des aliments, une bonne santé et des paysages somptueux pour tout type de création.

## Sources:

AAAS, American Association for the Advancement of Science, (2014) What We Know: The Reality, Risks, and Response to Climate Change

Albrecht WA, (1938) Loss of Soil Organic Matter and Its Restoration, Yearbook of Agriculture, USDA

Amundson R, Berhe AA, Hopmans JW, Olson C, Sztein AE, Sparks DL, (2015) Soil and human security in the 21<sup>st</sup> century, Science, 348, 1261071

Azeez G, (2009) Soil Carbon and Organic Farming, UK Soil Association, <http://www.soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket=SSnOCMoqrXs%3D&tabid=387>

Cairney JWG, (2000) Evolution of mycorrhiza systems, Naturwissenschaften 87:467-475

Comis D, (2002) Glomalin: Hiding Place for a Third of the World's Stored Soil Carbon, Agricultural Research, <http://agresearchmag.ars.usda.gov/2002/sep/soil>

Coumou D, Rahmstorf S, (2012) A decade of weather extremes, Nature Climate Change, Vol. 2, July 2012, pages 491-496

Dungait JAJ, Hopkins DW, Gregory AS, Whitmore AP, (2012) Soil Organic Matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance, Global Change Biology, 18, 1781-1796

EPA Office of Atmospheric Programs, April 2010, Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources

FAO, Organic matter decomposition and the soil food web, <http://www.fao.org/docrep/009/a0100e/a0100e05.htm>

Gosling P, Hodge A, Goodlass G, Bending GD, (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming, Agriculture, Ecosystems and Environment 113 (2006) 17-35

- Hepperly PR, (2015) Sentinels of the Soil, Acres USA, June, 2015
- Hoorman JJ, Islam R, (2010) Understanding soil Microbes and Nutrient Recycling, Ohio State University Fact Sheet, SAG-16-10
- IFOAM (2012) Submission from IFOAM to the HLPE on Climate Change and Food Security, 10/4/2012
- Jansa J, Bukovská P, Gryndler M, (May, 2013) Mycorrhizal hyphae as ecological niche for highly specialized hypersymbionts – or just soil free-riders? *Frontiers in Plant Science*, Volume 4 Article 134
- Jastrow JD, Amonette JE, Bailey VL, (2006) Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration, *Climatic Change* 80:5-23
- Jones C, SOS (2015) Save Our Soils, Acres USA, Vol. 45, No. 3
- Jones C, (2015) unpublished letter to an Ohio grazer, June 2015 and to author, July 2015
- Khan SA, Mulvaney RL, Ellsworth TR, Boast CW, (2007) The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration, *Journal of Environmental Quality*; Nov/Dec 2007; Vol 36
- Khorramdel S, Koocheki A, Mahallate MN, Khorasani R, (2013) Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems, *Soil and Tillage Research* 133 25-31
- Kirkby CA, Kirkegaard JA, Richardson AE, Wade LJ, Blanchard C, Batten G, (2011) Stable soil organic matter: A comparison of C:N:O:S ratios in Australian and other world soils, *Geoderma* 163 197-208
- Lal R, (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma* 123 (2004) 1-22
- Lal R, Follett RF, Stewart BA, Kimble JM, (2007) Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security, *Soil Science* 0038-075X/07/17212-943-956
- LaSalle TJ, Hepperly P, (2008) Regenerative Organic Farming: A Solution to Global Warming, Rodale Institute, [https://grist.files.wordpress.com/2009/06/rodale\\_research\\_paper-07\\_30\\_08.pdf](https://grist.files.wordpress.com/2009/06/rodale_research_paper-07_30_08.pdf)
- Machmuller M, Kramer MG, Cyle TK, Hill N, Hancock D, Thompson A, (2015) Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter, *Nature Communications* 6, Article number 6995
- Mao JD, Johnson RL, Lehmann J, Olk DC, Neves EG, Thompson ML, Schmidt-Rohr K, (2012) Abundant and stable char residues in soils: Implications for Soil Fertility and Carbon Sequestration, *Environmental Science and Technology*, 46, 9581-9576
- Meléndrez M, (2014) The Journey to Better Soil Health, unpublished paper presented to the First International Humus Expert's Meeting, Kaindorf, Austria, January 22 and 23, 2014
- Muller A, Gattinger A, (2013) Conceptual and Practical Aspects of Climate Change Mitigation Through Agriculture: Reducing Greenhouse Gas Emissions and Increasing Soil Carbon Sequestration, Research Institute of Organic Agriculture, Switzerland
- NASA, (2008) Target Atmospheric CO<sub>2</sub>: Where Should Humanity Aim? *Science Briefs*, Goddard Institute for Space Studies
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), What is Ocean Acidification? <http://www.pmel.noaa.gov/>
- Nichols K, Millar J, (2013) Glomalin and Soil Aggregation under Six Management Systems in the Northern Great Plains, USA, *Open Journal of Soil Science*, Vol 3, No. 8, pp. 374-378,
- NSIDC, (2015) Methane and Frozen Ground, National Snow and Ice Data Center, <https://nsidc.org/cryosphere/frozenground/methane.html>
- Ontl TA, Schulte LA (2012) Soil Carbon Storage, *Nature Education Knowledge*, 3(10):35
- Peterson TC, Stott PA, Herring SC, Hoerling MP, (2013) Explaining Extreme Events of 2012 from a Climate Perspective, Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 9, No. 9
- Powlson DS, Whitmore AP, Goulding WT, (2011) Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false, *European Journal of Soil Science*, 62, 42-55
- Quinkenstein A, Böhm C, da Silva Matos E, Freese D, Hüttl RF, (2011) Assessing the carbon sequestration in short rotation coppices of *Robinia pseudoacacia L.* on marginal sites in northeast Germany, in *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges*, 201, Kumar BM and Nair PKR (editors) *Advances in Agroforestry* 8
- Reganold JP, Andrews PK, Reeve JR, Carpenter-Boggs L, Schadt CW, Alldredge JR, Ross CF, Davies NM, Zhou J, (2010) Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems, *PLoS One* 5(10): 10-1371, Oct 6, 2010
- Rodale (2014) Regenerative Organic Agriculture and Climate Change: A Down-to-Earth Solution to Global Warming, [www.rodaleinstitute.org](http://www.rodaleinstitute.org)
- RSC (Royal Society of Chemistry), Rate of Photosynthesis: limiting factors, <http://www.rsc.org/learn-chemistry/content/filerepository/CMP/00/001/068/Rate%20of%20photosynthesis%20limiting%20factors.pdf>
- SAPS (Science and Plants for Schools), Measuring the rate of photosynthesis, (2015) <http://www.saps.org.uk/secondary/teaching-resources/157-measuring-the-rate-of-photosynthesis>
- Six J, Frey SD, Thiet RK, Batten KM, (2006) Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems, *Soil Science Society of America Journal* 70:555-569
- Timmusk S, Grantcharova N, Wagner EGH, (2005) *Applied and Environmental Microbiology*, Nov. 2005, P. 7292-7300
- Velivelli SLS, (2011) How can bacteria benefit plants? Doctoral research at University College Cork, Ireland, published in *The Boolean*
- Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM, (2003) Root Exudation and Rhizosphere Biology, *Plant Physiology* vol. 132, no. 1, 44-51
- Wink M (1988) Plant breeding: importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores, *Theor. Appl. Genet.* (1988) 75:225-233



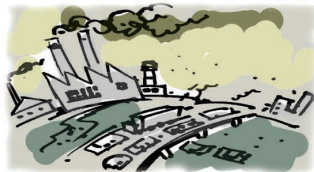
# For more information on restoring soil carbon: [www.nofamass.org/carbon](http://www.nofamass.org/carbon)

## How organic farming can save the world!



Our poor Earth.

Day after day, carbon dioxide gas is pumped into the air, warming up our planet and threatening our environment.



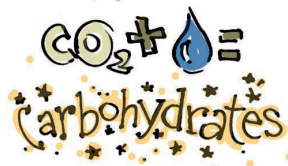
Fortunately for us, there's a solution -- and it's right underneath our feet



Organic farming is here to save us! TA-DAH!



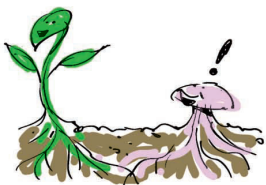
Good soil management helps promote the growth of healthy plants that absorb sunlight.



Plants then use their own chlorophyll along with carbon dioxide and water to produce -- carbohydrates!



Some of the sugars in these 'liquid' carbohydrates are 'leaked' or exuded down through the roots and, like magic, attract hungry microbes in the ground -- like bacteria and fungi.



Together, green plants and organisms in the ground protect and promote each other's health.



Best of all, this process locks the carbon into organic matter, can create humus in the soil (learn how in this paper) and...



...that keeps our planet healthy!



**nofa** NORTHEAST ORGANIC FARMING ASSOCIATION

illustrations by John Sherffius