

La voie méconnue du carbone liquide

« Liquid Carbon Pathway Unrecognised »

Revue *Australian Farm Journal* de juillet 2008

Traduction Jean-Luc galabert
(Inter-Culturel, ISI Homegreen Solutions, <https://lavierebelle.org>)

Dans cet article Christine Jones soutient que la capacité de captation et de séquestration de carbone par les sols est largement sous-estimée par la communauté scientifique, du fait de l'utilisation d'un modèle erroné pour mesurer le carbone du sol. En introduisant le concept de « voie du carbone liquide » (Liquid Carbon Pathway), elle décrit comment les plantes utilisent la photosynthèse pour capter le carbone atmosphérique (CO₂) et le pompe dans le sol sous forme de carbone liquide (exsudats racinaires), alimentant ainsi un réseau microbien symbiotique qui construit une couche arable stable et fertile et de l'humus, un processus de formation des sols bien plus efficace que la simple décomposition, essentiel pour améliorer la santé des sols, la rétention d'eau et le cycle des nutriments. Ce processus implique la photosynthèse, la synthèse du carbone en composés, leur exsudation pour nourrir les microbes (comme les champignons mycorhiziens) et l'humification (formation de matière organique stable dans le sol).

Une augmentation de 0,5% de la teneur en carbone dans les trente premiers centimètres de 2% des 445 millions hectares de terres agricoles australiennes permettrait, à elle seule, de séquestrer de manière sûre et permanente les émissions annuelles de dioxyde de carbone de toute l'Australie.

La séquestration du carbone atmosphérique dans le sol sous forme de carbone organique humifié permettrait également de restaurer la fertilité naturelle, d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau, d'améliorer considérablement la productivité agricole, d'assurer la résilience face aux variations climatiques et d'injecter des liquidités indispensables dans les économies rurales en difficulté.

La « solution sol » pour éliminer l'excès de dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère terrestre est négligée parce que les modèles mathématiques actuels de séquestration du carbone dans le sol ne tiennent pas compte de la voie principale de formation naturelle du sol.

Le processus par lequel le CO₂ gazeux est converti en humus se déroule depuis des millions d'années. C'est en fait le seul processus par lequel la couche arable peut être formée. La reconstitution d'une couche arable riche en carbone est une option pratique et bénéfique pour éliminer de manière efficace des milliards de tonnes de dioxyde de carbone en excès de l'atmosphère. En revanche, lorsque les sols perdent du carbone, ils perdent leur structure, leur capacité de rétention d'eau et leur disponibilité en nutriments.

Il est donc fondamental de comprendre le processus de formation des sols pour assurer la viabilité future de l'agriculture.

Comprendre comment le sol se forme s'avère donc d'une importance fondamentale pour assurer la viabilité future de l'agriculture. Restaurer une couche arable riche en carbone est en même temps la seule option pratique et bénéfique pour éliminer de manière productive les milliards de tonnes de CO₂ en excès dans l'atmosphère.

Captage et stockage biologique du carbone (CSC)¹

Le captage et le stockage biologique du carbone commencent par la photosynthèse, pendant laquelle les feuilles transforment l'énergie solaire, le dioxyde de carbone et l'eau en énergie biochimique. Pour les plantes, les animaux et les êtres humains, le carbone n'est pas un polluant, mais l'élément constitutif de la vie. Le carbone est la base de tout être vivant.

Pourvoyeur de nourriture pour la vie, une partie du carbone fixé par la photosynthèse peut être stockée sous une forme plus permanente sous forme de bois dans les plantes ligneuses (arbres ou les arbustes), ou sous forme d'humus dans le sol.

Ces deux processus présentent de nombreuses similarités.

- i. **Transformer le CO₂ de l'air en bois :** la formation de bois passe par la photosynthèse dans les feuilles pour capter le CO₂, suivie de la lignification, un processus au sein de la plante par lequel des composés carbonés simples sont regroupés en molécules plus complexes et plus stables pour former la structure ligneuse de l'arbre .
- ii. **Transformer le CO₂ de l'air en sol :** la formation de la couche arable passe par la photosynthèse dans les feuilles pour capter le CO₂, suivie de l'humification, un processus au sein du sol par lequel des composés carbonés simples sont regroupés en molécules plus complexes et plus stables qui forment la structure humique du sol.

L'humification est un processus par lequel des composés carbonés simples sont assemblés en molécules plus complexes et plus stables. La formation d'humus nécessite une vaste gamme de microbes du sol, notamment des champignons mycorhiziens, des bactéries fixatrices d'azote et des bactéries solubilisant le phosphore, qui tirent tous leur énergie des sucres végétaux (carbone liquide).

¹ Le captage et stockage biologique du carbone, ou la séquestration biologique du carbone, désigne le processus par lequel les organismes vivants, en particulier les plantes, absorbent et stockent le dioxyde de carbone () de l'atmosphère. Cela peut se faire naturellement, comme à travers la photosynthèse, ou par des pratiques agricoles et forestières spécifiques.

Comment se fait-il que les arbres continuent de transformer du CO₂ en bois, mais que les sols ne transforment plus de CO₂ en humus ?

La réponse est assez simple. Pour que les arbres puissent produire du bois à partir du carbone soluble, ils doivent être vivants et recouverts de feuilles. Pour que le sol puisse produire de l'humus à partir du carbone soluble, il doit être vivant et recouvert de plantes en pleine croissance.

La constitution d'un carbone stable dans le sol est un processus en quatre étapes qui commence par la photosynthèse et se termine par l'humification. De nombreux systèmes de production agricole à grande échelle ne parviennent pas à constituer un carbone stable en profondeur dans le sol en raison de l'absence de la photosynthèse tout au long de l'année, souvent combinée à des taux élevés d'engrais synthétiques qui inhibent le pont entre les plantes et les microbes.²

Ces facteurs ont été négligés dans les modèles de séquestration du carbone du sol.

Le modèle Roth C

Comme d'autres modèles de ce type, le modèle de renouvellement du carbone organique dans les sols carbone de Rothamsted, connu sous le nom de modèle RothC, a été développé par des chercheurs pour prédire mathématiquement les mouvements du carbone dans et hors des sols.

Ce modèle repose sur l'hypothèse que la majeure partie du carbone pénètre dans le sol sous forme d'apports de biomasse, c'est-à-dire à partir de la décomposition des feuilles, des racines et des chaumes des plantes. Le modèle Roth C fournit des estimations utiles des flux de carbone dans les sols agricoles gérés de manière conventionnelle, mais ne tient pas compte des niveaux importants de séquestration du carbone observés dans les sols activement alimentés par du carbone soluble.

Lorsque le carbone pénètre dans l'écosystème du sol sous forme de matière végétale (comme les chaumes), il se décompose et retourne dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone. D'où la lamentation « mon sol mange le paillis », familière aux jardiniers amateurs comme aux cultivateurs de vastes surfaces. Si les résidus végétaux sont importants pour le fonctionnement du réseau trophique du sol, la réduction de la demande évaporative et la régulation de la température du sol, ils ne conduisent pas nécessairement à une augmentation des niveaux de carbone stable dans le sol.

À l'inverse, le flux de carbone soluble qui circule dans l'écosystème du sol par le biais du cytoplasme des champignons mycorhiziens, peut être stabilisé rapidement par humification et conservé de manière permanente, si l'on adopte les bonnes pratiques culturelles.

Carbone mycorhizien

Les types de champignons qui survivent dans les sols agricoles gérés de manière conventionnelle sont principalement saprophytes, c'est-à-dire qu'ils tirent leur énergie de la matière organique en décomposition, telle que les chaumes, les feuilles mortes ou les racines mortes.

2 La partie humification de l'équation est aujourd'hui absente de la plupart des systèmes de production agricole, comme l'est aussi la couverture permanente des sols aussi en tant que support de la photosynthèse et sa capacité de fournir du carbone sous forme liquide.

En règle générale, ces types de champignons ont des réseaux mycéliens relativement limités. Ils sont importants pour la fertilité et la structure du sol, mais ne jouent qu'un rôle mineur dans le stockage du carbone.

Les champignons mycorhiziens diffèrent considérablement des champignons décomposeurs en ce sens qu'ils obtiennent leur énergie sous forme liquide, le carbone liquide, directement des racines de plantes en pleine croissance.

Il existe de nombreux types de champignons mycorhiziens. Les espèces particulièrement importantes pour l'agriculture sont souvent appelées mycorhizes à arbuscules³ ou mycorhizes à vésicules et arbuscules appartenant à la classe des gloméromycètes.

On sait très bien que les champignons mycorhiziens accèdent à des nutriments tels que le phosphore, l'azote et le zinc et les transportent en échange de carbone provenant de leur hôte vivant. Ils ont également la capacité de relier les plantes individuelles sous terre et peuvent faciliter le transfert de carbone et de nutriments entre les espèces. La croissance des plantes est généralement plus importante en présence de champignons mycorhiziens qu'en leur absence.

Ce qui est moins connu, c'est que dans les environnements saisonniers secs, variables ou imprévisibles les champignons mycorhiziens peuvent jouer un rôle extrêmement important dans la dynamique eau-plante, l'humification et les processus de formation des sols.

Humification

Dans des conditions appropriées, une grande partie du carbone soluble est acheminé vers les agrégats via les hyphes des champignons mycorhiziens et subit une humification, un processus au cours duquel les sucres simples sont resynthétisés en polymères de carbone très complexes. Les polymères d'humus sont constitués de carbone et d'azote provenant de l'atmosphère, combinés à une gamme de minéraux provenant du sol. Ces complexes organo-minéraux forment une partie stable et indissociable de la matrice du sol qui peut rester intacte pendant des siècles.⁴

Le carbone humifié diffère physiquement, chimiquement et biologiquement du réservoir labile de carbone organique qui se forme généralement près de la surface du sol et provient principalement des apports de biomasse (tels que les résidus de cultures) qui se décomposent facilement.

3 Anciennement connues sous le nom de mycorhizes arbusculaires vésiculaires (MAV)], appartenant au phylum Glomeromycota. Le terme MAV n'est plus utilisé car tous les champignons MA ne possèdent pas de vésicules.

4 Les complexes organo-minéraux sont des associations de matière organique et de minéraux dans le sol. Ils jouent un rôle crucial dans la stabilisation de la matière organique et la régulation du cycle du carbone.

« *Le lien étroit entre l'assimilation du carbone et de l'azote de l'air quant à la formation de matières organiques et d'humus stables, remonte au tout début du développement de la vie sur Terre. C'est un processus biologique fondamental qu'on retrouve déjà dans les cyanobactéries (algues bleu-vertes par exemple.) il y a quelques trois milliards d'années, c'est à dire aux toutes premières heures de la vie terrestre. En association avec différents minéraux, il permet notamment l'assimilation, le stockage et la transmission de l'énergie solaire (source d'électrons e-) pour alimenter la vie sur la Planète. Cette réalité permet de mieux comprendre l'importance fondamentale de cette relation symbiotique pour la séquestration du carbone, la formation d'humus, le climat et notre sécurité alimentaire qui sont étroitement liés à une agriculture performante, rentable, autonome, écologique et durable.* » Note de Ulrich Schreier et Hubert de Montmarin qui ont traduit l'article de Christine Jones pour la revue TCS.

À l'inverse, la plupart du carbone humifié provient de l'exsudation directe ou du transfert de carbone soluble des racines des plantes vers les champignons mycorhiziens et d'autres microflores symbiotiques ou associatives. L'humus peut se former à une profondeur relativement importante dans le profil du sol, à condition que les plantes soient gérées de manière à favoriser un enracinement vigoureux.

Une fois le dioxyde de carbone atmosphérique séquestré sous forme d'humus, il présente une forte résistance à la décomposition microbienne et oxydative.⁵

Les conditions du sol nécessaires à l'humification sont réduites en présence d'herbicides, de fongicides, de pesticides, d'engrais phosphatés et azotés, et améliorées en présence d'exsudats racinaires et de substances humiques telles que celles dérivées du compost.

Les conditions nécessaires à l'humification sont compromises en présence d'herbicides, de fongicides, de pesticides, d'engrais phosphatés et azotés. En revanche, elles sont renforcées en présence de substances humiques telles que les acides humiques et fulviques ainsi que les thés de compost, en particulier lorsque ces substances sont combinés avec des inoculants microbiens

L'environnement biologique du sol nécessaire à la formation d'humus est favorisé par les pratiques agricoles écologiques tout au long de l'année, telles que la culture en pâturage et les cultures de couverture multi-espèces diversifiées. L'humification peut également se produire dans les systèmes de culture annuels, à condition d'éviter les jachères nues, de maintenir le sol couvert en permanence et d'utiliser des engrains respectueux de la biologie plutôt que des produits ayant des effets antimicrobiens.

L'humification est également possible dans les systèmes de cultures annuelles, à condition d'éviter les jachères nues, de maintenir le sol couvert en permanence et d'utiliser des engrains biologiques plutôt que des produits à effet antimicrobien.⁶

Culture sur prairie permanente (Pasture cropping)⁷

C'est dans les prairies permanentes que la photosynthèse est active pendant la plus grande partie de l'année. Par ailleurs, la présence permanente d'un hôte vivant est une source sûre de carbone liquide et, de plus, fournit un habitat parfait pour les champignons mycorhiziens.

La pratique du "pasture cropping" (semis direct dans une pâture en dormance), une pratique dans laquelle une culture annuelle, semée de préférence sans herbicide, va pousser en déphasage avec des plantes pérennes, peut permettre une formation de sol plus importante que dans une prairie permanente seule. Ce phénomène peut s'expliquer par la fourniture de carbone liquide pendant

5 C'est aussi le cas pour la lignine du bois

6 Passer de plantes annuelles à des plantes pérennes peut doubler les niveaux de carbone dans un temps relativement court. Ceci n'est guère surprenant étant donné que la photosynthèse et 'l'autoroute mycorhizienne du carbone' sont les facteurs les plus importants pour la formation du sol.

7 Pasture cropping, littéralement « culture en pâturage » est une méthode de culture sans labour où les cultures annuelles sont semées dans un pâturage pérenne vivant et dormant. Ce système intègre la production végétale et animale, en exploitant les cycles de croissance complémentaires des plantes annuelles et pérennes. Il vise à améliorer la santé des sols, à accroître la biodiversité et à réduire la dépendance aux intrants externes.

toute l'année de manière à entretenir le processus d'humification durant la période où la végétation pérenne est dormante.

Il est intéressant de noter que la croissance d'une culture annuelle semée directement dans un pâturage pérenne peut être égale, voire supérieure, à celle d'une culture annuelle plantée seule. Cela peut s'expliquer par des niveaux d'activité biologique plus élevés, une meilleure structure du sol, une nutrition améliorée, une plus grande capacité de rétention d'eau et des avantages en termes d'équilibre hydrique (tels que la remontée et la redistribution hydraulique), ainsi que par les bénéfices liés au microclimats liés à la coexistence avec les plantes pérennes.

Ces avantages ne sont pas observés lorsque les cultures annuelles ou les pâturages ne sont présents qu'une partie de l'année, laissant le sol nu le reste du temps. En effet, lorsque la couverture végétale est insuffisante, les sols se détériorent fréquemment, ce qui entraîne des problèmes de structure, de salinité, de toxicité de l'aluminium, d'engorgement, de déséquilibre minéral,

Ni les cultures annuelles ni les pâtures cultivées en l'absence de plantes pérennes n'ont cette capacité à fournir de tels avantages. En effet, lorsque la couverture végétale pérenne est insuffisante, les sols le plus souvent se détériorent, entraînant des problèmes de structure, de toxicité, d'engorgement, de déséquilibres minéraux, de salinité, d'érosion et de colonisation par des adventices.

Bien qu'il existe des preuves que les cultures annuelles et les plantes pérennes peuvent tous les deux tirer profit d'une cohabitation, il faudra du temps pour trouver les meilleures combinaisons pour les sols divers et variés que l'on rencontre dans les régions agricoles de l'est, du sud et de l'ouest de l'Australie.

À ce jour, l'herbe de Guinée (*Megathyrsus maximus* ex *Panicum maximum*) a été la graminée pérenne la plus intéressante pour les cultures associées. Cette graminée se développe dans des environnements étonnamment divers allant du Central Queensland jusqu'en Nouvelle-Galles du Sud (Nord, Est et Centre), à l'État de Victoria et dans les régions agricoles du sud, centre et nord de l'Australie occidentale. Les feuilles et les tiges de l'herbe de Guinée contiennent plusieurs endophytes naturels⁸ pouvant fixer l'azote, une caractéristique qui semble favoriser la bonne alimentation des cultures.

8 Les endophytes sont des micro-organismes, principalement des bactéries et des champignons, qui vivent à l'intérieur des tissus végétaux sans causer de dommages apparents. Ils jouent un rôle crucial dans la santé des plantes, offrant des avantages tels qu'une croissance accrue, l'absorption des nutriments et une meilleure tolérance au stress. Ces micro-organismes bénéfiques peuvent également produire des composés bioactifs aux applications potentielles en médecine et en agriculture.



Herbe de Guinée (*Megathyrsus maximus* ou *Panicum maximum*)

Cet apport permet une séquestration de carbone de l'ordre de 5 à 20 tonnes de CO₂ par hectare et par an.

Dans certaines situations sans aucun 'apport extérieur de biomasse', des séquestrations de CO₂ supérieurs à 20 tonnes par hectare et par an ont été observés. Ce phénomène suggère que, dans ces cas-là, 'l'autoroute mycorhizienne du carbone' était la principale voie pour la formation de sol.

Le passage d'une agriculture annuelle à une agriculture pérenne peut doubler les niveaux de carbone dans la couche arable en trois à cinq ans, en particulier lorsque le point de départ est inférieur à 2 %.

Dans des régions agricoles de l'Est, du Sud et de l'Ouest de l'Australie, des augmentations de carbone de 0,5% à 1% peuvent donc être atteintes assez facilement en ne faisant que quelques changements simples dans les pratiques culturales.

Près de 60% du continent australien est aujourd'hui destiné à la production alimentaire. Or, dans les décennies à venir, la résilience des ressources agricoles face à de nouveaux extrêmes climatiques deviendra de plus en plus importante, tant sur le plan national que sur le plan international.

Chaque 27 tonnes de carbone biologiquement séquestrés correspond à 100 tonnes de CO₂ éliminées de l'atmosphère. Le bonus de cet exploit est une production alimentaire bien plus sûre et bien plus rentable.

Or, dans les sols agricoles gérés de manière conventionnelle, le processus « biomasse en entrée, dioxyde de carbone en sortie » prédomine. Il sera de plus en plus difficile de cultiver de manière productive si nous ne parvenons pas à progresser au-delà de ce type de gestion « appauvrissant les sols », en particulier dans un environnement qui se réchauffe et s'assèche.

Pour en savoir plus :

Allen, M.F (2007) 'Mycorrhizal fungi: highways for water and nutrients in arid soils'. Soil Science Society of America, Vadose Zone Journal Vol 6 (2) pp. 291-297. www.vadosezonejournal.org

Leake, J.R., Johnson, D., Donnelly, D.P., Muckle, G.E., Boddy, L. and Read, D.J. (2004). Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. Canadian Journal of Botany, 82: 1016-1045. doi:10.1139/B04-060