

Une initiative de la Commission
de conservation et de gestion des sols
et de la Commission de génie
agroalimentaire et de l'environnement

COLLOQUE EN AGROENVIRONNEMENT
« Des outils d'intervention à notre échelle »

Le 23 février 2005, Drummondville

**Activité microbiologique
et qualité des sols :
quoi de neuf sous nos pieds?**

Martin CHANTIGNY, Ph.D.

Chercheur scientifique

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy

ET

Denis ANGERS, Ph.D.

Chercheur scientifique

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy

Note : Cette conférence a été présentée lors de l'événement
et a été publiée dans le cahier des conférences.

Activité microbiologique et qualité des sols : quoi de neuf sous nos pieds?

INTRODUCTION

La population microbienne du sol constitue le maillon final de la « chaîne trophique » du sol par laquelle transite le carbone et les éléments nutritifs des matières organiques avant de redevenir disponibles pour les plantes; elle remplit donc une fonction essentielle et obligatoire dans le « recyclage » des matières organiques retournées au sol. La population microbienne du sol contient une certaine quantité d'éléments nutritifs dans sa biomasse qui est souvent perçue comme une réserve à court terme pour les plantes. Les connaissances acquises au cours des deux dernières décennies sur l'environnement où naissent, croissent et meurent les microorganismes du sol ainsi que sur les relations physiques qu'ils développent avec les matières organiques dont ils se nourrissent permettent à peine de mieux comprendre leur rôle dans le recyclage des éléments nutritifs du sol. Elles permettent toutefois de mieux comprendre les conditions menant à une meilleure qualité physique des sols par le biais de l'activité microbienne du sol. Nous faisons aujourd'hui un survol de ces dernières connaissances et tenteront de mieux comprendre comment, en se nourrissant de diverses matières organiques, les microorganismes influent sur la qualité des sols.

ENVIRONNEMENT PHYSIQUE ET SOURCES D'ÉNERGIE POUR LA MICROFLORE DU SOL

Les microorganismes du sol sont largement hétérotrophes, ce qui veut dire qu'ils dépendent d'une source de matières organiques pour en tirer leur énergie et se multiplier; on parle aussi de microorganismes décomposeurs. Les travaux de Foster et coll. (1983) ont permis de constater que les microorganismes ne sont pas distribués de façon homogène dans le sol, mais se retrouvent plutôt sous forme de microcolonies, pour la plupart dans un état de dormance. Dès qu'une source d'énergie se retrouve près de ces microcolonies, l'état de dormance des cellules microbiennes est levé; si des éléments nutritifs sont présents les microorganismes se multiplieront rapidement. L'arrivée d'une source d'énergie survient lorsqu'une racine en croissance passe près d'une colonie microbienne ou lorsqu'on amende le sol. Les amendements les plus communs sont les résidus de culture, les fumiers, et certains autres produits comme les résidus de papier et les composts.

Les fragments de matières organiques qui composent un amendement ne sont pas distribués de façon homogène lors de leur application au sol. Les microorganismes qui vont coloniser et se multiplier à la surface de ces fragments ne seront donc pas non plus distribués de façon homogène, mais selon la distribution de l'amendement. Un phénomène d'immobilisation de l'azote est à prévoir dans le cas des amendements ayant un rapport C/N élevé. Ce phénomène

d'immobilisation est essentiellement lié à la demande d'azote nécessaire à la multiplication des microorganismes colonisant les surfaces des matières organiques. On peut donc comprendre que l'azote ainsi immobilisé ne se retrouvera pas non plus réparti de façon homogène dans le sol, mais se concentrera davantage près des particules de matières organiques en décomposition. Il faut également comprendre que cet azote immobilisé est dès lors d'origine microbienne, et que c'est donc principalement lors de la mort des microorganismes que l'azote immobilisé pourra redevenir sous forme minérale et disponible pour la plante.

Lorsque les microorganismes du sol redeviennent actifs, ils sécrètent un mucilage riche en glucides et en protéines dont la fonction première est d'assurer une protection contre la dessiccation. Ce mucilage est collant et a tendance à s'agglutiner aux particules de sol adjacentes constituant ainsi de petites entités autour des cellules microbiennes ayant une stabilité et une cohésion supérieure à celle du milieu environnant; c'est ce qu'on appelle un agrégat (Tisdall et Oades, 1982). Les microorganismes se développant sur les matières organiques pour s'en nourrir ont donc une influence sur leur propre environnement physique et en deviennent eux-mêmes les architectes (Figure 1).

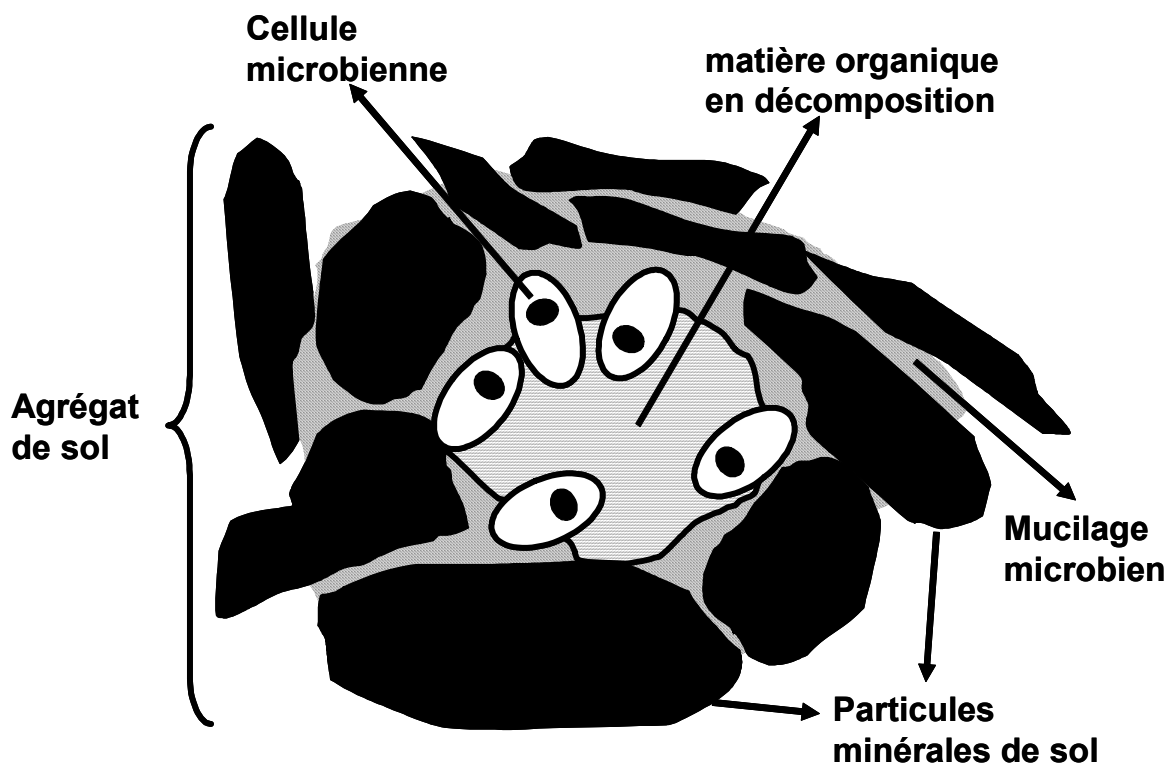


Figure 1 : Agglutination et formation d'un agrégat de sol consécutives à l'activité microbienne de décomposition d'une particule de matière organique.

Les agrégats formés par l'activité microbienne de décomposition des matières organiques ont toutefois une durée de vie limitée et se désagrègeront à mesure que la matière organique se décompose et s'humifie, et que les microorganismes mourront ou entreront de nouveau en dormance après avoir épuisé leur source d'énergie. De nouveaux agrégats seront formés à mesure que de nouvelles matières organiques seront apportées au sol. Ce phénomène d'alternance entre agrégation et désagrégation constitue un système biologiquement dynamique où les agrégats se renouvellent et changent de forme, sans cesse influencés par l'activité biologique de décomposition des matières organiques.

De façon générale, les microorganismes du sol influencent donc diverses composantes liées à la qualité du sol comme la matière organique et la structure. Le sol ne peut dès lors plus se concevoir comme une matrice homogène, mais plutôt comme un assemblage hétérogène d'entités physiques formées par l'activité microbienne à la surface des matières organiques en décomposition en interaction avec les particules minérales de sol. Nous verrons pour la suite comment tous ces concepts s'appliquent à ce qui se passe en conditions de champ en fonction du type de matière organique apportée au sol soit : les racines, les résidus végétaux et les fumiers de ferme.

APPLICATION DES CONCEPTS AUX RÉALITÉS DU CHAMP

La racine : un robinet ouvert

Une racine est constituée de plusieurs portions ayant un degré de développement et de maturité varié. La coiffe est un tissu protecteur qui, comme l'indique son nom, coiffe l'extrémité de la racine et protège les structures cellulaires contre l'abrasion lors de l'enfoncement dans le sol. Ce tissu est voué à une destruction et un renouvellement perpétuels. L'enfoncement de la coiffe dans le sol au cours de la croissance des racines résulte en une exfoliation de cellules entières ou brisées. De plus, la coiffe sécrète un mucilage lubrifiant, riche en protéines et en glucides, favorisant le glissement dans le sol. Les cellules exfoliées et le mucilage de la coiffe constituent une source d'énergie de choix pour les microorganismes du sol qui rapidement débiteront la colonisation des surfaces racinaires. Ce milieu en développement s'appellera la « rhizosphère ». Après le passage de la coiffe, les tissus racinaires en place ne bougent plus vraiment dans le sol mis à part l'accroissement en diamètre de la racine. Les cellules présentes se mettent à s'allonger, poussant la coiffe plus avant dans sa prospection du sol, puis à se différencier en tissus ayant diverses fonctions. Certaines cellules épidermiques s'allongent en poils absorbants. Au cours de toutes ces étapes de développement, la racine exsude une foule de composés, comme des sucres, des acides aminés et des hormones, dont la plupart n'ont pas encore de rôle connu. À certains endroits, des racines latérales apparaîtront; leur formation à partir de l'intérieur de la racine provoquera le bris des cellules épidermiques qui déverseront leur contenu dans le sol. Les racines sont donc un véritable robinet ouvert déversant des quantités appréciables de matières organiques pour la plupart très nutritives pour les microorganismes. Les quantités exactes de composés ainsi déversés dans le sol ne sont pas

connues avec exactitude, mais correspondraient à peu près à l'équivalent de la biomasse racinaire de la plante. Il n'est donc pas étonnant que la biomasse microbienne dans la rhizosphère (zone de sol directement influencée par la présence de la racine) soit au moins dix fois plus élevée que dans le reste du sol (Foster et coll., 1983).

Les racines vivantes sont donc une source importante d'énergie et d'éléments nutritifs pour la microflore du sol. Comme dit précédemment, la croissance microbienne est aussi associée à la libération d'un mucilage collant qui favorisera l'adhérence d'agrégats de sol à la surface des racines. De plus, les fines racines et les systèmes racinaires très ramifiés peuvent constituer un véritable « filet » dans lequel sont retenus les agrégats de sol. Les plantes ayant un système racinaire très ramifié, comme les graminées fourragères, semblent favoriser une meilleure stabilité des agrégats de sol. Cependant, cet effet pourrait être partiellement lié à la grande abondance de champignons qui se développent au niveau de ces systèmes racinaires (Chantigny et coll., 1997), et plus particulièrement des mycorhizes.

Les racines mortes sont également un bon substrat pour les microorganismes qui peuvent alors se nourrir de tous les composés des cellules putrescentes. En se fragmentant graduellement, les structures plus résistantes des racines mortes pourront devenir le noyau de nouveaux agrégats de sol. Les champignons, que ce soit les mycorhizes colonisant les racines saines ou les champignons saprophytes (qui se nourrissent des matières organiques en décomposition) ont un effet marqué sur la formation d'agrégats de sol par la sécrétion d'un mucilage collant, mais aussi, comme pour les fines racines des végétaux, par la formation d'hyphes fongiques qui finissent par former un « filet » stabilisant les agrégats de sol.

Les résidus végétaux

Les résidus de récolte

Dans plusieurs systèmes de culture, seuls les grains sont récoltés alors que les parties végétatives de la plante sont retournées au sol. La plupart du temps ces résidus sont retournés au sol en fragments grossiers dont les surfaces seront colonisées par les microorganismes du sol dès que les conditions seront propices. Dans les systèmes avec travail du sol, les résidus sont rapidement mis en contact intime avec le sol et la colonisation microbienne survient rapidement. Dans les systèmes sans labour, les résidus de culture à la surface du sol sont graduellement mis en contact avec le sol par les cycles de gel-dégel et d'humectation-dessiccation et par l'action de la faune du sol (vers de terre, insectes, etc.). Les champignons sont aussi capables d'établir des « ponts » à l'aide de leurs hyphes qui permettent d'initier une colonisation et une décomposition des résidus de culture à l'interface entre le sol et ces résidus (Frey et coll., 2000). Comme pour tout autre type de résidu organique, une fois colonisés les résidus de culture se décomposent et se fragmentent progressivement alors que les microorganismes présents sécrètent leur mucilage protecteur qui colle aux particules de sol environnantes. Les fragments de résidus en décomposition deviennent ainsi le noyau d'autant

d'agrégats de sol (Angers et Chenu, 1997) dont la durée de vie dépendra de celle de la matière organique ayant servi à leur formation (Tisdall et Oades, 1982; Six et coll., 2000). Le nombre et la stabilité des agrégats d'un sol ont donc tendance à augmenter à mesure que la quantité de résidus de culture retournée à ce sol augmente.

Les résidus papetiers

Les résidus issus de la fabrication et du recyclage du papier sont riches en fibres de bois trop courtes pour être utilisées dans le papier. Ces résidus ont un potentiel intéressant au niveau de l'apport de matière organique qu'ils peuvent procurer au sol (Fierro et coll., 1999; Chantigny et coll., 1999). Grâce à leur richesse en cellulose, ces résidus constituent une source d'énergie importante pour les microorganismes du sol. Après pressage, ces résidus se présentent sous forme de petits amas de fibres de quelques millimètres à quelques centimètres de diamètre. Une fois en contact avec le sol, la surface de ces amas est colonisée par les microorganismes et s'incruste de particules de sol. L'amas de fibres constitue alors le noyau d'un agrégat stable (Chantigny et coll., 1999). La durée de vie de ces agrégats dépendra, encore une fois, de la vitesse de décomposition des fibres de bois ayant servi à leur formation; les agrégats devenant moins stables à mesure que se décomposent les fibres de bois. Comme pour les résidus de culture, les résidus papetiers favorisent l'agrégation du sol (Chantigny et coll., 1999) ainsi qu'une meilleure rétention en eau dans les sols sableux (Fierro et coll., 1999). De plus, leur rapport carbone-azote élevé cause une immobilisation temporaire de l'azote du sol pouvant être mise à profit pour réduire la croissance des mauvaises herbes dans les systèmes de culture de légumineuses (Machrafi, 2004). On peut présumer que la surface des résidus papetiers colonisée par les microorganismes est également le lieu physique où s'accumule l'azote immobilisé.

Les fumiers de ferme

Les fumiers solides

Les fumiers solides contiennent une certaine quantité de fibres végétales. Chez les espèces monogastriques et la volaille, ces fibres proviennent essentiellement des litières utilisées, alors que chez les ruminants, elles proviennent également de la fraction fibreuse non digérée de l'alimentation. À cet effet, la composition des fumiers solides est en partie semblable à celle des résidus végétaux décrits auparavant. Les déjections animales contiennent également des sécrétions endogènes principalement constituées de cellules mortes et de microorganismes provenant du tube digestif, et des rejets métaboliques. Ces composés sont très facilement dégradables et riches en éléments nutritifs. Enfin, le fumier contient l'azote urinaire qui est généralement rapidement transformé en azote ammoniacal une fois en contact avec les fèces des animaux. Les fumiers solides contiennent donc à la fois la source d'énergie nécessaire aux microorganismes, mais aussi de nombreux éléments nutritifs permettant leur croissance.

Lorsque le fumier épandu au champ est frais, ou seulement entreposé en tas, son degré de décomposition est peu avancé ce qui en fait un produit très stimulant pour la croissance microbienne. Les particules fibreuses du fumier pourront alors être colonisées rapidement par les microorganismes du sol et servir de noyau pour la formation de nouveaux agrégats de sol (Aoyama et coll., 1999), selon un processus similaire à celui décrit dans la section précédente. Certaines études ont d'ailleurs démontré l'effet positif de la dose de fumier sur la stabilité des agrégats de sol et sur la croissance des champignons du sol, principaux médiateurs de la formation de ces agrégats (N'dayegamiye et Angers, 1990).

Les lisiers

Mis à part leur forte teneur en eau, les lisiers de bovins ont une constitution ressemblant aux fumiers solides étant donné qu'ils contiennent les fibres non digérées de l'alimentation. Ils peuvent toutefois être moins riches en litières. Il reste donc encore des matières fibreuses qui peuvent soutenir une colonisation physique par les microorganismes et servir de noyau à la formation de nouveaux agrégats de sol. Certaines études démontrent d'ailleurs que l'apport de lisier de bovins améliore la stabilité des agrégats de sol (Bissonnette et coll., 2001).

Les lisiers issus d'élevages de monogastriques, comme le lisier de porcs, sont généralement pauvres en matières fibreuses. En effet, les élevages de porcs avec gestion des effluents sous forme de lisier utilisent peu ou pas de litières. De plus, l'alimentation des porcs est essentiellement à base de grains, ne laissant comme seule source de fibres que le son qui représente une bien petite proportion du total des déjections animales. À l'épandage, le lisier de porcs représente donc une bonne source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les microorganismes du sol, mais contient bien peu de particules fibreuses susceptibles de servir d'amorce à la formation d'agrégats de sol. De 60 à 100 % de la matière organique du lisier de porcs est transformée en CO₂ dans les semaines qui suivent l'application de lisier de porcs au champ (Rochette et coll., 2000; Chantigny et coll., 2001).

La matière organique apportée ne peut donc pas servir de support physique à la formation d'agrégats de sol étant donné qu'elle se minéralise très rapidement. Elle est toutefois susceptible de stimuler la croissance des microorganismes et leur sécrétion de mucilage qui peuvent alors amorcer la formation et la stabilisation d'agrégats de sol. Le seul effet du mucilage microbien est toutefois de plus courte durée dans le temps étant donné qu'il se dégrade plus vite que les fibres végétales. C'est probablement pourquoi l'apport régulier de lisier de porcs au sol ne semble pas permettre d'augmenter le nombre et le degré de stabilité des agrégats de sol (N'dayegamiye et Côté, 1996); les particules solides susceptibles de servir de support physique à l'activité microbienne et à la formation d'agrégats ne sont pas présentes en quantités significatives. Ceci n'enlève rien à la valeur fertilisante du lisier, mais il faut y voir un excellent engrais liquide plutôt qu'un amendement permettant d'améliorer de façon soutenue les qualités physiques du sol.

RÉFÉRENCES

- Angers, D.A. et C. Chenu. 1997. Dynamics of soil aggregation and C sequestration. Ch. 14. Pages 199-206 dans : Soil processes and the carbon cycle, R. Lal et coll. (éd.). CRC Press. Boca Raton, Fl.
- Aoyama, M., D.A. Angers et A. N'dayegamiye. 1999. Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. Canadian Journal of Soil Science 79 : 295-302.
- Bissonnette, N., D.A. Angers, R.R. Simard et J. Lafond. 2001. Interactive effects of management practices on water-stable aggregation and organic matter of a Humic Gleysol. Canadian Journal of Soil Science 81 : 545-551.
- Chantigny, M.H., D.A. Angers, D. Prévost, L.-P. Vézina et F.-P. Chalifour. 1997. Soil aggregation and fungal and bacterial biomass under annual and perennial cropping systems. Soil Science Society of America Journal 61 : 262-267.
- Chantigny, M.H., D.A. Angers et C. J. Beauchamp. 1999. Aggregation and organic matter decomposition in soils amended with de-inking paper sludge. Soil Science Society of America Journal 63 : 1214-1221.
- Chantigny, M.H., P. Rochette, D.A. Angers. 2001. Short-term C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: a field experiment. Canadian Journal of Soil Science 81 : 131-137.
- Fierro, A., D.A. Angers et C.J. Beauchamp. 1999. Restoration of ecosystem function in an abandoned sandpit : plant and soil responses to paper de-inking sludge. Journal of Applied Ecology 36 : 244-253.
- Foster, R.C., A.D. Rovira et T.W. Cock. 1983. Ultrastructure of the root-soil interface. The American Phytopathological Society, St-Paul, MN. 157 pages.
- Frey, S.D., E.T. Elliott, K. Paustian et G.A. Peterson. 2000. Fungal translocation as a mechanism for soil nitrogen inputs to surface residue decomposition in a no-tillage agroecosystem. Soil Biology and Biochemistry 32 : 689-698.
- Machrafi, Y. 2004. Cité par Catherine Dubé. On jette l'encre au champ. Québec Science, Juillet-Août 2004 : 10.
- N'dayegamiye, A. et D.A. Angers. 1990. Effets de l'apport prolongé de fumier de bovins sur quelques propriétés physiques et biologiques d'un loam limoneux Neubois sous culture de maïs. Canadian Journal of Soil Science 70 : 259-262.

Les systèmes culturaux incluant l'usage de lisier comme principale source de matières organiques fertilisantes devraient donc aussi miser sur une bonne rotation de cultures, permettant d'assurer un bon apport en résidus de récolte (N'dayegamiye et Côté, 1996), ou sur l'apport d'autres sources de fibres comme les fumiers solides ou les résidus papetiers.

CONCLUSION

On sait depuis plusieurs années qu'un sol fertile présente de bonnes qualités physiques, comme une agrégation stable, qui améliorent l'infiltration de l'eau et la croissance des racines. De plus, un sol ayant une bonne agrégation est généralement bien pourvu en matières organiques et possède donc une bonne réserve en eau utile pour les végétaux. Ce taux de matières organiques est maintenu grâce aux divers amendements du sol. Les plus récentes découvertes sur les relations physiques qui s'établissent entre un amendement organique, le sol et sa microflore nous permettent de mieux comprendre comment ces amendements peuvent aider à la formation et à la stabilisation d'agrégats de sol; un support physique riche en énergie semble nécessaire afin que les microorganismes puissent s'y développer pour ensuite servir de « pont » entre les particules de sol et ce support qui joue alors le rôle d'amorce et de noyau dans la formation de nouveaux agrégats de sol. Pour tous les amendements étudiés, la présence de fibres végétales cellulosiques semble être la clé de ce mécanisme d'agrégation.

La connaissance d'un même « lieu physique » où se déroulent à la fois la croissance microbienne, la décomposition des matières organiques et l'agrégation des particules minérales du sol permet d'établir que d'autres phénomènes reliés à l'amendement des sols, comme l'immobilisation de l'azote, se déroulent également dans ce même lieu physique et n'affectent donc pas tout le sol de façon homogène. Les recherches à venir devraient permettre d'établir si les composés microbiens, dans lesquels est immobilisé l'azote, contribuent de façon importante au phénomène « d'arrière-effet » des amendements du sol.

- N'dayegamiye A. et D. Côté. 1996. Effet d'application à long terme de fumier de bovins, de lisier de porcs et de l'engrais minéral sur la teneur en matière organique et la structure du sol. *Agrosol* 9 : 31-35.
- Rochette, P., D.A. Angers et D. Côté. 2000. Soil Carbon and Nitrogen Dynamics Following Application of Pig Slurry for the 19th Consecutive Year: I. Carbon dioxide fluxes and microbial biomass carbon. *Soil Science Society of America Journal* 64 : 1389-1395.
- Six, J., E.T. Elliott et K. Paustian. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32 : 2099-2103.
- Tisdall, J.M. et J.M. Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33 : 141-163.