

UNIVERSITÉ LAVAL

Faculté de Foresterie et de Géomatique
Département des Sciences du Bois et de la Forêt

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

séminaire donné à

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ URENA
Santo-Domingo
RÉPUBLIQUE DOMNICAINÉ

**«*La lignine des
Dicotylédones ligneuses et son
influence universelle sur le système
humique*»**

par le

Professeur Gilles Lemieux

mai 1994

Publication n° 46

<http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>

édité par le

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

UNIVERSITÉ LAVAL
Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Québec G1K 7P4
QUÉBEC Canada

La lignine des Dicotylédones ligneuses et son influence universelle sur le système humique

RÉSUMÉ

L'évolution socio-économique de nos sociétés a suscité un profond divorce entre l'agriculture et la forêt. Peu se soucient du fait que les sols agricoles sont presque toujours issus de sols forestiers, et que ceux-ci dérivent de la forêt feuillue sous toutes les latitudes. Les sensibilités écologiques initiées dans les années '60 provoquent de nombreuses réflexions, tant sur l'environnement que sur la crise de civilisation actuelle. Notre anthropocentrisme nous a fait connaître intimement notre monde, mais nous a également forcés à l'«**artificialisation**» qui entraîne inévitablement des baisses de rendement et de qualité, menaces directes de l'écoviabilité de notre économie. Tous les efforts ont porté sur la minéralisation en agriculture et en foresterie. Peu a été fait sur l'**humification** qui, en fait, régit la **minéralisation** et la fertilité. Notre manque de compassion pour le sol et sa biologie fondamentale nous mène directement à la faillite économique. En comparant les sols agricoles et forestiers, il faut admettre que toute la sylviculture retient l'agriculture comme modèle de référence, d'où l'«artificialisation» de la forêt sans horizons écologiques et économiques pondérables. La lignine des Angiospermes est au centre de l'**humification et des contrôles biologiques de la fertilité**. C'est par la dépolymérisation faite par les Basidiomycètes («pourritures blanches») que la lignine donne un humus stable et réactif, de toutes les réactions biochimiques et microbiologiques du sol. Plusieurs filières sont responsables de la fertilité, et l'une des principales est la filière fongique, avec un facteur limitant toutefois, qui est la barrière aliphatique occasionnée par la présence et la synthèse de matières grasses. La seconde filière est celle de la faune du sol, largement tributaire de la filière fongique, suivie de la filière générale que nous avons appelée «microbiologique», la plus commune en sols agricoles. Finalement, la filière biochimique s'intéresse au rôle des polyphénols et du complexe tanins-protéines. Il faut ajouter ici la structure de la lignine elle-même, responsable du fonctionnement de ces filières. Le bois raméal (BRF) est à la base de la compréhension de tous ces processus par la possibilité d'application de la méthode expérimentale. L'absence d'attention portée à la structure et l'importance du **système humique est sans doute à la base de la crise agricole actuelle et principalement de la désertification**. Pour ce qui est de la forêt, la crise est imminente et ne saurait tarder. Il est urgent d'amener les universités à coopérer dans un effort de compréhension et de recherche à l'échelle internationale.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Zuge der sozioökonomischen Entwicklung unserer Gesellschaften ist es zu einem tiefgreifenden Bruch zwischen Land- und Forstwirtschaft gekommen. Häufig wird übersehen, daß fast alle Ackerböden und diese wiederum in allen Breitengraden aus Laubwäldern hervorgegangen sind. Das anfangs der 60er Jahre erwachte Umweltbewußtsein führte zu zahlreichen Reflexionen über die Umwelt und die derzeitige Kulturkrise. Unserer Anthropozentrismus hat zu einer gründlichen Erforschung unserer Umwelt geführt; andererseits hat er jedoch auch eine „Artifizialisierung“ bewirkt, die zwangsläufig mit Ertrags- und Qualitätsverlusten verbunden die ökologische Tragfähigkeit unserer Wirtschaft unmittelbar bedrohen. Bislang galten unsere Bemühungen in der Land- und Forstwirtschaft ausschließlich der Mineralisierung. Der **Humifizierung**, die in Wirklichkeit die **Mineralisierung** und Fruchtbarkeit steuert, wurde dagegen wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Unser mangelndes am Medium Boden und an den grundlegenden bodenbiologischen Vorgängen führt zum wirtschaftlichen Ruin. Bei einem Vergleich zwischen Acker- und Waldböden muß eingeräumt werden, daß in allen Bereichen des Waldbaus die Landwirtschaft als Referenzmodell verwendet wird, was in Verbindung mit einer ökonomischen Perspektivenlosigkeit die „Artifizialisierung“ des Waldes bewirkt hat. Bei der **Humifizierung und biologischen Beeinflussung der Fruchtbarkeit** spielt das Lignin der Angiospermen eine zentrale Rolle. Von allen biochemischen und mikrobiologischen Bodenreaktionen ergibt einzig und allein die von Basidiomyceten (Weißfäule-Pilze) bewirkte Depolymerisation einen stabilen und reaktionsfähigen Humus. Für die Fruchtbarkeit sind eine Reihe maßgeblich, von denen pilzbedingte Vorgänge zu den wichtigsten gehören, wobei allerdings ein begrenzender Faktor existiert: die durch die Präsenz und Synthese von Fettstoffen verursachte aliphatische Barriere. Der zweite Prozeß, der sich in erheblichem Umfang auf den pilzbedingten Prozeß abstützt, beruht auf der Bodenfauna, während der allgemeine Prozeß, den wir als „mikrobiologisch“ bezeichnet haben, in Ackerböden am stärksten verbreitet ist. Schließlich sei noch der biochemische Prozeß erwähnt der sich auf die Rolle der Polyphenole und Tannin-Protein-Komplexes bezieht. An dieser Stelle muß auch auf die Struktur des Lignins eingegangen werden, die für den Ablauf dieser Prozesse

verantwortlich ist. Experimentelle Verfahren mit Waldhackschnitzeln bieten die Möglichkeit, einen Beitrag zum Verständnis aller dieser Prozesse zu leisten. Das mangelnde Interesse an der Struktur und der Bedeutung des **Huminstoff-Systems ist zweifellos einer der Gründe für die derzeitige Krise der Landwirtschaft und vor allen für die Desertifikation**. In der Landwirtschaft steht die Krise unmittelbar bevor. Es ist daher dringend erforderlich, die Universitäten zur Zusammenarbeit zu bewegen, um die Wissensbasis zu verbreitern und Forschung auf internationaler Ebene zu fördern.

ABSTRACT

The socio-economic evolution of society has caused a serious divorce between agriculture and forestry. Few people worry about the fact that nearly all agricultural land was originally forest land, and stems from hardwood forest everywhere. The ecological awareness that began in the 1960s has sparked considerable reflection on the environment and the crisis facing modern civilization. Our anthropocentrism has compelled us to become intimately acquainted with our world, but has also led to **artificialization**, inevitably resulting in reduced yields and quality, which directly threaten the ecological viability of our economy. In agriculture and forestry, the entire focus has been on mineralization, with little work being done on **humification**, which in fact regulates **mineralization** and fertility. Our lack of compassion for the soil and its fundamental biology is leading us directly to economic bankruptcy. In comparing agricultural and forest soils, it must be recognized that all silvicultural practices use agriculture as a reference model, hence the «artificialization» of the forest owing to the absence of ecological and economic foresight. The lignin of Angiosperms is central to **humification** and **biological controls of fertility**. Of all the biochemical and microbiological reactions in the soil, it is depolymerization by Basidiomycetes ("white rot") that yields a stable, reactive humus. A number of activities or factors are responsible for soil fertility, with one of the main ones being the fungal activity, although a limiting factor exists, the aliphatic barrier, caused by the synthesis of fatty substances. The second factor is soil fauna, which is largely dependent on fungal activity, followed by the general process which we have called «microbiological» the most common process in agricultural soils. Finally, the biochemical process relates to the role of polyphenols and tannin-protein complex. Here we should also mention the structure of the lignin itself, which is responsible for these aspects. Ramial Chipped Wood (RCW) provides a mean of understanding all these processes through application of experimental methods. The lack of attention given to the structure and importance of the **humic system is without any doubt a cause of the current agricultural crisis and above all desertification**. With respect to the forest, the crisis is imminent, so time is of the essence. There is an urgent need to get universities to co-operate in an effort to broaden understanding and research at the international level.

RESUMEN

La evolución socioeconómica de nuestras sociedades ha llevado a un profundo divorcio entre la agricultura y los bosques. Causa poca inquietud el hecho de que, en todas las latitudes, los suelos agrícolas habían sido, en la gran mayoría de los casos, suelos forestales los que, a su vez, se derivan de los bosques frondosos. La sensibilidad ecológica despertada en el decenio de 1960 ha dado origen a numerosas reflexiones, tanto sobre el medio ambiente como sobre la crisis actual de la civilización. Nuestro antropocentrismo nos ha permitido alcanzar una íntima comprensión del mundo que nos rodea pero, al mismo tiempo, nos ha obligado a la "artificialización", que acarrea inevitablemente disminución del rendimiento y de la calidad, lo que representa una amenaza directa para la viabilidad ecológica de nuestra economía. En las esferas de la agricultura y la silvicultura, todos los esfuerzos han estado centrados en la mineralización. Contados son los trabajos sobre la **humificación** que, de hecho, rige la **mineralización** y la fertilidad. Nuestra falta de compasión por el suelo y su biología fundamental nos conduce directamente a la bancarrota económica. A la hora de comparar los suelos agrícolas y forestales, es necesario admitir que la silvicultura en su conjunto tiene como modelo de referencia a la agricultura, de lo que se deriva la "artificialización" del bosque sin horizontes ecológicos y económicos ponderables. La lignina de las Angiospermas es elemento central de la **humificación y de los controles biológicos de la fertilidad**. Es debido a la despolimerización causada por los basidiomicetes ("podredumbres blancas") que la lignina produce un humus estable y reactivo, entre todas las reacciones bioquímicas y microbiológicas del suelo. La fertilidad es producto de varios grupos de procesos, y uno de las principales es la actividad de los hongos que, sin embargo, tiene un factor limitante, a saber, la barrera alifática que obedece a la presencia y la síntesis de materias grasas. El segundo grupo de procesos es el de la fauna del suelo, tributaria en gran medida de los anteriores, seguida de los procesos generales, que hemos llamado "microbiológicos", los más comunes en los suelos agrícolas. Por último, los procesos bioquímicos se interesan en el papel de los polifenoles y del complejo taninos-proteínas. Es necesario añadir aquí la estructura misma de la lignina, responsable del funcionamiento de esos diversos procesos. Las astillas de madera son elemento básico para la comprensión de todos esos procesos debido a la posibilidad de aplicación del método experimental. La falta de atención prestada a la estructura y a la importancia del **sistema húmico es, indudablemente, origen de la crisis agrícola actual y principalmente de la desertificación**. Por lo que respecta a los bosques, la crisis es inminente y no habrá de tardar. Es urgente instar a las universidades a cooperar en un esfuerzo de comprensión y de investigaciones a escala internacional.

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux
Université Laval, Québec, Canada

SUMÁRIO

A evolução sócio-económica das nossas sociedades tem causado um profundo divórcio entre a agricultura e a floresta. Poucos se preocupam com o facto de que os solos agrícolas são, quase sempre, originários de solos florestais e que esses derivam, em todas as latitudes, da floresta folhosa. A consciencialização ecológica que emergiu na década de 60 deu origem a muitas reflexões, tanto no tocante ao ambiente como à conjuntura da civilização actual. O nosso antropocentrismo deu-nos um conhecimento íntimo do mundo em que vivemos, mas também nos forçou à «**artificialização**», que acarreta, inevitavelmente, as baixas de rendimento e de qualidade, que são ameaças directas à ecoviabilidade da nossa economia. Todos os esforços foram concentrados na mineralização dos solos agrícolas e florestais. Pouco se fez sobre a **humificação** que, com efeito, rege a **mineralização** e a fertilidade. A nossa falta de compaixão pelo solo e pela sua biologia fundamental conduz-nos directamente à falência económica. Ao comparar os solos agrícolas e florestais, é necessário admitir que toda a silvicultura toma a agricultura como modelo de referência; daí a «artificialização» da floresta, sem horizontes ecológicos e económicos ponderáveis. A lenhina das angiospérmicas constitui o âmago da **humificação e dos controlos biológicos da fertilidade**. É através da despolimerização feita através dos basidiomicetos («podridões brancas»), que a lenhina produz um húmus estável e reactivo a todas as reacções bioquímicas e microbiológicas do solo. Existem vários processos responsáveis pela fertilidade, e um dos principais é o processo fúngico; porém, com um factor limitativo, que é a barreira alifática causada pela presença e a síntese de matérias gordas. O segundo processo é o da fauna do solo, largamente tributário do processo fúngico, seguido do processo geral a que demos o nome de «microbiológico», o mais comum nos solos agrícolas. Por último, o processo bioquímico, que é importante ao papel dos polifenóis e do complexo tânico-proteico. Será necessário acrescentar, aqui, a estrutura da lenhina, que é responsável pelo funcionamento desses processos. O bosque ramoso fragmentado (BRF) constitui o fundamento da compreensão de todos estes processos, através da possibilidade de aplicação do método experimental. A falta de atenção dispensada à estrutura e importância do sistema húmico está, sem dúvida, na base da conjuntura agrícola actual e, sobretudo, da desertificação. No que concerne a floresta, a crise está iminente e não se fará esperar. Torna-se urgente levar as universidades a cooperarem num esforço de compreensão e de investigação à escala internacional.

Bien que la question ne soit pas existentielle pour la majorité d'entre nous pour l'instant, le lien entre la forêt et les champs, entre la foresterie et l'agriculture, ce lien n'est pas évident. L'agriculture, de tradition immémoriale, fait appel à des cycles annuels ou presque, alors que la foresterie fait appel à des cycles le plus souvent séculaires. Il va de soi que l'agriculture aura retenu l'attention des hommes dans la connaissance de ses mécanismes intimes et ce, bien avant la forêt. En fait, le divorce entre ces deux entités est d'une profondeur telle qu'il nous faut réfléchir à la question. Voilà ce qui nous a préoccupé au cours de la dernière décennie.

Un bref rappel historique.

Il nous faut bien admettre que la quasi-totalité des sols agricoles ont été récupérés à même la forêt sous toutes les latitudes, avec quelques exceptions comme les steppes asiatiques, la pampa argentine ou les grandes plaines du centre de l'Amérique du Nord. Dans ces régions, les graminées dominent sous un régime pluviométrique déficient et capricieux.

Pour ce qui est des autres régions forestières, toutes se développent à l'origine sous des régimes climatiques à bonne pluviométrie, tant sous les tropiques que dans les régions tempérées. Il n'est pas de notre propos de traiter de la question de l'eau, bien qu'il y ait des liens évidents entre la présence de grands massifs forestiers et la régulation de la disponibilité de l'eau pour la croissance. Il faut noter un autre point important en ce qui

regarde l'origine des régions agricoles fertiles: **toutes sont dérivées de forêts feuillues**, les plus fertiles étant issues des grandes chênaies climaciques. Pourquoi les forêts conifériennes ne donnent-elles pas de bons sols agricoles? Pourquoi les forêts mixtes donnent-elles de meilleurs rendements que les forêts de conifères monospécifiques?

Si les sols agricoles dérivent presque tous des forêts feuillues et donnent de bien meilleurs rendements, il doit bien y avoir quelques raisons fondamentales pour lesquelles nous n'avons jamais réfléchi correctement. Est-ce une simple question de disponibilité de nutriments ou une question d'équilibres biologiques?

Les sensibilités écologiques des années 60

Dans la mesure où les innovations techniques d'après-guerre et les disponibilités monétaires deviennent réalité, la sonnette d'alarme a été tirée et provoqua l'arrivée des premières institutions internationales chapeautées par l'ONU ou par d'autres grandes institutions. C'est ainsi qu'est né le terme «ENVIRONNEMENT» dans son acception actuelle, terme qui marque le centre de toutes les sensibilités écologiques d'origine urbaine du monde occidental.

Tout en stigmatisant les attaques contre l'*environnement*, la société occidentale, dans l'euphorie de la richesse nouvelle, a poussé de plus en plus loin la technologie avec comme source première les richesses de l'*environnement*, les considérant comme stables et inépuisables. Une telle conception du monde ne peut qu'apporter ruine et misère à moyen terme, puisqu'il n'y a pas place à la réflexion et à la diffusion des connaissances fondamentales de la vie sur cette planète. Je dirais pire encore, il n'y a plus de soif de la connaissance fondamentale nouvelle; on se contente seulement de la description de la vie et de la nature, et on met l'accent sur la mise au point de techniques de plus en plus artificielles, n'ayant d'égards que pour le jour même et faisant abstraction complète du passé et de l'avenir.

C'est ainsi que l'absurde a pris place dans la vie de chacun en investissant uniquement dans des techniques de pointe, et en traitant la réalité quotidienne comme une abstraction et les rêves comme la réalité, aiguillonnés que nous sommes par le pouvoir que donne la disponibilité de l'argent par la technique. Le grand exclu de ce dilemme est le temps, cet «élément» dans lequel tout prend forme et se modifie selon des séquences souvent régies par le hasard, ce qui rend la logique mathématique des plus fantaisistes souvent.

Physique, chimie et génétique.

Il m'apparaît évident que c'est dans cet ordre que sont apparues les connaissances scientifiques dans nos efforts de recherche depuis des siècles, là où les mathématiques ont joué un rôle énorme dans la transmission, la synthèse et l'élaboration de la connaissance des phénomènes et de la proposition de nouvelles solutions. Ainsi avons-nous développé le champ de connaissances dans lequel les sciences de la vie devaient

évoluer dans leur très grande complexité. Bien que nous dépendions exclusivement de la nature pour notre vie, la recherche poussée de nouvelles connaissances s'est fixée sur l'homme lui-même. Tout comme les hommes avant Galilée et Kepler considéraient la terre comme étant le centre du monde, ainsi considérons-nous l'homme comme le centre de l'univers. Il y a ici une analogie qui choque le plus humble d'entre nous, mais que bien peu peuvent réfuter. Nous nageons donc dans notre propre absurdité, mais la quiétude n'y est plus heureusement...! Nous avons confondu **notre** univers avec l'Univers. Les années actuelles nous en montrent l'exiguïté et la fragilité.

Nul ne peut contester l'immense apport du développement des connaissances dans le monde de la chimie que nous savons maintenant intimement lié à celui de la physique. La chimie nous a permis des incursions d'une profondeur inouïe dans la connaissance de l'univers, et tout particulièrement, dans la connaissance de la vie elle-même. Ces nouvelles connaissances sont d'une puissance telle que nous en tirons d'autres plus profondes encore tous les jours. Malheureusement, nous avons tendance à fixer ces connaissances dans un monde figé dans le temps et dans l'espace.

Au siècle dernier, une autre découverte fondamentale nous livre les lois de la génétique où nous savons contrôler ou susciter de nouveaux gènes. Nous utilisons maintenant la combinaison de nos connaissances en physique, chimie et génétique pour tenter de rester dans la logique que nous nous sommes donnée, et pour contrôler l'univers qui nous fait vivre et dont nous faisons partie intégrante. Nous avons maintenant des **superfertilisants**, des **superpesticides**, des **superfongicides**, des **superherbicides**, des **supersylvicides**. D'un autre côté, nous avons mis au point des «**supervariétés**» résistantes à tel ou tel insecte, à tel ou tel virus, à telle ou telle maladie cryptogamique. De telles plantes ont tout d'abord été créées par sélection naturelle, par des méthodes de multiplication artificielles, puis maintenant, par la modification directe du stock génétique en traversant toutes les barrières.

Bien que je me réjouisse de ces connaissances nouvelles, je ne peux que constater que nous avons délaissé la réalité et les bases de la connaissance pour un univers lointain. J'ai souvent l'impression que nous sommes à l'écoute de Schéhérazade avec ses contes des Mille et Une Nuits, dont le but est de retarder les échéances de la réalité. Nous sommes à nous noyer dans notre technique artificielle en négligeant de nous investir dans des champs «traditionnels» inconnus et inexplorés. **Ceux qui sont sceptiques à ces propos n'ont qu'à regarder la réalité économique et les horizons de plus en plus fuyants de la prospérité.** Voilà que les rêves cèdent la place à la réalité de tous les temps.

La matière organique ou la connaissance biologique traditionnelle?

En réaction à ce que nous venons de décrire, de nombreuses tendances se sont manifestées de par le monde, et bien entendu, dans le monde occidental, responsable avant tout de ces changements brutaux. Pour les besoins de la cause, nous n'en retiendrons que deux, soit la tendance **environnementaliste**, essentiellement d'origine urbaine, qui cherche des «supertechniques» non polluantes pour un bien-être encore plus poussé, mais toujours aux dépens des autres. La seconde tendance est la tendance **organique**, essentiellement d'origine rurale, qui prône les techniques anciennes en réduisant l'impact de la mécanique agricole, en éliminant tous les apports de la science moderne comme les fertilisants chimiques, les pesticides, les herbicides, etc. Toutefois, tout repose sur l'utilisation de la «matière organique», principalement les composts et les fumiers.

En réalité, les deux tendances procèdent de la même dialectique: la **minéralisation**. La querelle prend forme lorsque la foresterie et l'agriculture modernes font abstraction de l'origine des nutriments apportés, sans égards aux aspects biologiques du sol. Nous faisons ici référence aux *chimistes* de la grande industrie agricole du monde occidental, par opposition aux *organistes* d'une petite industrie largement répandue, et qui a de nombreux appuis qui jurent que l'origine des nutriments chimiques a une importance primordiale. Pour ma part, je crois que ce débat est basé sur de faux arguments et que tous les minéraux sont les mêmes, quelqu'en soit l'origine.

Le point où le bât blesse réside dans la manière dont ces mêmes éléments sont stockés et mis à la disposition des plantes. Ici interviennent non seulement les éléments chimiques eux-mêmes, mais tous les systèmes enzymatiques qui ont contribué à les rendre disponibles en dehors de leurs attaches moléculaires et en forçant des associations biochimiques particulières. De multiples organismes ont réalisé ces blocages, transports, transferts, mises en disponibilité et rétentions, d'où la notion de fertilité où l'azote joue un grand rôle. Il est toujours difficile de départager l'oeuf de la poule, puisque nous évoluons dans un cercle biologique initié par le temps, l'histoire et l'évolution de notre monde.

Il sera donc difficile de départager l'influence des facteurs physiques, physico-chimiques, chimiques, biochimiques et biologiques (d'origine végétale ou animale), dans la notion de fertilité et de productivité. Une chose nous semble certaine: la connaissance que nous avons acquise de la chimie minérale nous a guidés dans l'appréciation, l'évaluation et la mesure que la technique nous permet d'accomplir. Bien qu'une grande part de vérité réside dans la connaissance des constituants chimiques, l'incroyable précision de nos analyses et la facilité de leurs interprétations par les voies de la mathématique informatisée, nous laissent admiratifs, mais désarmés, devant une demi-vérité si éclatante.

Depuis plus d'une décennie, nous sommes confrontés à une évidence: **malgré tous les efforts de fertilisation, les rendements plafonnent ou commencent à fléchir**. La progression des maladies virales ou cryptogamiques est en expansion constante. Il en va de même de la diversité biologique qui accuse une nette régression, tout comme la désertification qui progresse toujours et de plus en plus vite dans plusieurs pays. Comme le discours scientifique tourne toujours autour de la disponibilité des nutriments minéraux, de

celle de l'azote, et de la difficulté de gérer l'eau nécessaire à la croissance, nous sommes enfermés dans un dilemme universel de plus en plus profond. Il s'y engouffrent les misères du Tiers Monde affamé et les milliards de dollars du monde industrialisé, avec des résultats toujours de plus en plus négatifs. Voilà l'un des piliers de la crise économique actuelle qui n'est qu'une facette d'un tournant de notre civilisation.

Le système humique

Le problème qui nous occupe, ainsi posé, força notre interrogation sur le fonctionnement des grands écosystèmes forestiers, en admettant que tous ces systèmes en équilibre étaient adaptés à la disponibilité des éléments nutritifs et réussissaient à pallier à la rareté des éléments les plus difficiles d'accès. Nous en sommes venus à considérer que le système humique était le seul responsable de la régulation de tous les facteurs nutritionnels, qu'il était le plus apte à faire passer de la mort à une nouvelle vie, les tissus végétaux ou animaux qui lui étaient confiés. Tous les phénomènes physiques, chimiques ou biologiques dont il a été question s'y déroulent et s'y côtoient, selon des cycles multiples et des ordres assez rigoureux. Nous en sommes venus à supposer que nous étions en présence d'un des phénomènes les plus importants de notre monde, qui se situe tout justement entre la poule et l'oeuf, et inversement.

Si l'hypothèse ne manque pas d'élégance, il en va autrement pour en démontrer la véracité, les mécanismes intimes et la vraisemblance de son universalité. Il nous faut donc trouver une méthode expérimentale pouvant apporter les preuves scientifiques d'une telle hypothèse. Ainsi, après avoir pris pour acquis que tous nos sols agricoles avaient une origine forestière, il pourrait peut-être exister un lien entre la qualité des peuplements et la qualité biologique du système humique. Ce n'est qu'après plusieurs années de recherches et de réflexions que nous voyons maintenant surgir un à un les constituants et l'histoire de ce monde étrange qu'est la vie du sol. Presque aussi vieux que la planète elle-même, **voici un domaine responsable de notre vie de tous les jours et pour qui nous n'avons pas eu beaucoup de compassion**, et encore moins la soif de la connaissance qu'il mérite.

La quasi-totalité des auteurs que nous avons consultés durant la décennie précédente, se sont attachés à la description des phénomènes reliés au sol ou à la composition des écosystèmes jusque dans leurs moindres détails, mais aucun ne s'est astreint à la connaissance de leur dynamique intrinsèque. Bien que nous connaissions les détails les plus intimes et l'importance de la géologie et de sa dynamique, celle de l'histoire de la végétation, de l'évolution de sa structure et de sa composition, des relations avec le climat, etc., peu se sont souciés, si ce n'est au point de vue chimique, de la dynamique de ces mécanismes et de leurs relations. Mon but n'est pas ici de jeter la pierre à qui que ce soit, mais de trouver les causes d'une telle lacune en cette fin de millénaire.

Le productivisme

Comme nous sommes tributaires des écosystèmes pour notre vie sur cette planète, et que nous vivons de plus en plus dans des systèmes artificiels pour obvier aux

lacunes de la «biodiversité», nous sommes avant tout «PRODUCTIVISTES». Nous tentons de produire plus par tous les moyens, avec le moins de diversité possible. C'est la base de la philosophie industrielle du siècle dernier et de ce siècle. Ainsi, nous avons tous conscience que notre vie tient à la nourriture que nous produisons et qui est la base essentielle de notre existence dans ce monde. Ainsi, considérons-nous depuis le Moyen Âge que la terre nourrit et que la forêt apporte des compléments (énergie, matériaux, jeux et charmes bucoliques et dangers). Il devient donc évident que notre vie collective et individuelle a été conditionnée par la disponibilité de la nourriture, imposant une empreinte indélébile sur notre comportement par rapport à la terre.

Les découvertes de la chimie minérale et de la chimie organique, complétées par la biochimie du siècle dernier, nous ont confortés dans la perception de l'importance et de la réalité de l'agriculture. Tous les modèles développés l'ont été dans ce contexte. Cette approche à l'agriculture a eu comme conséquence de percevoir la réalité biologique comme étant chimique avant tout, alors que la productivité semblait corroborer cet état de choses, mais avec quelques petites difficultés d'ordre sanitaire. Dans la mesure où l'on perçoit la productivité uniquement dépendante des apports chimiques, on cultive toute une kyrielle d'insectes, de maladies fongiques, bactériennes ou virales accompagnées d'une flore adventice de plus en plus agressive.

En réalité, la réponse à ces «iniquités de la nature» a été tout a fait anthropogène; à ces maladies, il faut des remèdes et à ces carences minérales, des suppléments. Ainsi, avons-nous bâti toute une série d'industries mobilisant des sommes d'argent colossales pour des résultats sur le terrain de moins en moins efficaces, et des ennemis de plus en plus nombreux. Le comble du ridicule a été atteint lorsque la simple récolte de la tige des arbres, sans exporter de nutriments, a abouti aux mêmes résultats qu'en agriculture: apparition de grandes superficies forestières indésirables et sans valeur commerciale, de maladies de toutes sortes particulièrement dans les pépinières forestières, d'insectes ravageurs persistants et d'une rare agressivité.

Aux maux engendrés par la perception anthropocentrique de l'agriculture, nous avons apporté les mêmes remèdes, faute de connaissances et de perception du besoin d'en acquérir. Ainsi, avons-nous vu apparaître des charrues à labour profond tirées par de très gros tracteurs, puis la scarification suivie de la plantation, nécessitant des pépinières de production. Pire encore, nous avons considéré l'«opportunité» d'une grande production à courte révolution, par des plantations de résineux monospécifiques sur des milliers d'hectares. La raison principale réside dans la nécessité d'assurer les besoins d'un marché à venir, même si on ne peut en faire la moindre démonstration crédible. Pour s'assurer de mener à terme ces plantations fort coûteuses et très fragiles, nous avons pris le modèle agricole une fois de plus, faute de connaître mieux. Les deux dernières décennies ont vu apparaître, à la grande satisfaction de l'industrie chimique, tout un monde de nouveaux fertilisants où l'azote occupe une place de choix, des sylvicides de haute performance, des insecticides «biologiques» ou non. En laboratoire, on met au point des méthodes de multiplication sophistiquées et on espère les miracles de la génétique pour donner des arbres plus «performants». C'est la forêt agricole, celle qui nous apportera les bénéfices

industriels de demain, toujours basée sur les connaissances agricoles et les données économiques d'une agriculture à courtes révolutions et à hauts rendements annuels. Voici les trois premiers sophismes: la foresterie n'est pas l'agriculture, elle n'est pas soumise aux mêmes règles économiques, elle est soumise à de longues révolutions et à de faibles rendements sur des cycles séculaires.

C'est ainsi que nous nous sommes interrogés sur ce qui était particulier et fondamental dans ce type de rendement séculaire ou plus, qui nécessite une «alimentation minérale» soutenue et une qualité phytosanitaire «éblouissante», en particulier chez les forêts feuillues. On ne peut parler ici que d'équilibre, celui qui manque aux forêts résineuses souvent mono ou «oligospécifiques», et qui est absent d'une l'agriculture tributaire des soins attentifs de l'homme, à des coûts sans cesse croissants et avec des succès toujours décroissants. Il y a donc ici un paradoxe et un hiatus qui n'a fait l'objet que de dénonciations bien timides, mais dont la réflexion superficielle n'a apporté aucun fruit, sauf la proposition de techniques de plus en plus artificielles et onéreuses reposant le plus souvent sur l'oisiveté, l'automatisme et un manque de réalisme des plus navrants.

Après avoir parcouru une large partie de la littérature scientifique de ce siècle, tant agricole que forestière, il m'est apparu que le sol était probablement l'élément responsable des difficultés actuelles. Il fut l'un des derniers sujets à faire l'objet d'une science grâce aux efforts de Russes, d'où l'abondance de racines russes dans les termes descriptifs. La pédologie est avant tout une science descriptive dont toutes les explications de fonctionnement sont venues de la chimie, sauf en ce qui regarde le complexe humique, qui a été longtemps perçu comme étant d'importance physique par ses effets thermorégulateurs et conservateur de l'eau nécessaire à la croissance des arbres et des plantes agricoles.

Si on connaît bien le comportement des composantes chimiques du sol, et la relation entre la disponibilité de ces dernières et les besoins de la plante pour une croissance maximum, en revanche, on connaît peu les mécanismes régulateurs. Cette méconnaissance est largement due à la disponibilité de tous les éléments, grâce à l'industrie chimique et à la complaisance de toutes les puissances politiques de notre monde qui ont facilité le développement de cette industrie pour le plus grand bien de tous. Il faut reconnaître que l'industrie des produits chimiques a apporté beaucoup à notre sécurité alimentaire, mais en même temps, elle a tué notre curiosité sur les mécanismes et les phénomènes fondamentaux de la vie dont nous dépendons si profondément. La plante, objet premier de notre convoitise, fut et demeure, l'unique source de curiosité dans laquelle nous investissons toujours dans le but de nous enrichir, de nous guérir, de nous parer ou de nous évader de la réalité. La dernière découverte est sans doute le génie génétique qui nous fournira des «superplantes», sans maladies et tout bénéfice pour les consommateurs que nous sommes. Nous croyons tous «dur comme fer» aux «miracles de la science»! Voici un bien étrange comportement collectif en cette fin de millénaire marqué par de formidables découvertes. Tout comme au Moyen Âge, nous en sommes aux miracles et à la magie qui guérissent et solutionnent tout. Dans ce contexte, comment ne pas avoir de crises économiques, politiques, spirituelles...?

La vie est caractérisée par les échanges.

C'est un euphémisme de dire que la vie dépend avant tout des échanges, mais de quels échanges? Le premier donne, le second reçoit, ce qui se solde après des millions d'années par une richesse plus grande et plus diversifiée. L'objet même de ces échanges, la vie, est plus diversifié et mieux adapté. Bien étrange bilan comptable que celui-ci! La physique décrit ce phénomène d'un mot, l'entropie. Mais dans leur soif de contrôle, les Hommes suscitent maintenant l'enthalpie, phénomène inverse de la thermodynamique. N'y aurait-il pas des mécanismes autres, comme le suggèrent **Prigogine et Stengers (1978)** avec leur thermodynamique hors équilibre? Pour ma part, je le pense; c'est ce qui m'amena à examiner plus avant des phénomènes des plus terre à terre comme le système humique, sa composition, sa dynamique et son origine.

S'il y a un phénomène universel sur terre, c'est bien la présence, dans tous les écosystèmes terrestres, d'un horizon du sol capable d'assurer le passage de la mort vers une nouvelle vie. Jusqu'ici, nous avons qualifié ce passage de «cycle». Nous parlons du cycle de l'eau, de l'azote, du soufre, du carbone... De là, nous parlons du cycle de la vie en traitant de la reproduction, auquel on associe tous les phénomènes vitaux telle la physiologie. Toutefois, notre vision chimique du monde dans lequel nous vivons nous empêche de voir la réalité. Ce qui tombe au sol disparaît, sauf dans le cas où le phénomène de transformation est brimé, tel le cas particulier des tourbes. C'est ainsi que j'ai été amené, petit à petit, à considérer l'ensemble des phénomènes du sol comme étant avant tout d'ordre biologique, bien que la description n'ait été que chimique au cours du siècle qui s'achève. Voilà une vue qui peut susciter quelques objections de la part de mes contemporains, mais ils sont tellement absorbés par une science devenue ludique et aculturée, qu'il faudra sans doute des décennies pour provoquer quelques réactions que ce soient!

La forêt, mère de l'agriculture.

Vue sous l'angle que je viens de décrire, la réalité biologique de notre monde apparaît sous des valeurs différentes en fonction du temps. **Ainsi, qui peut contester le fait que la forêt a précédé l'agriculture de quelques millions d'années dans notre monde?** Celui qui le ferait serait la preuve vivante d'une profonde ignorance de l'histoire. Nous savons tous que l'agriculture du Québec a vu le jour avec l'arrivée des défricheurs qui ont eu l'aura de la gloire jusqu'au début des années 50. Il nous faut admettre que tous nos sols ont une histoire biologique remontant tout au moins à la dernière glaciation et probablement bien avant. Cette histoire n'a été vue que sous l'angle physique, c'est-à-dire géologique et géomorphologique.

Un bref coup d'oeil de par le monde nous indique, mises à part certaines régions peu densément peuplées, comme la pampa argentine, la steppe asiatique ou la prairie nord-américaine, que tous les peuples de la planète y compris sous les tropiques, pratiquent une agriculture sur des sols dérivés de la forêt. Notre anthropocentrisme et notre productivisme nous ont poussés vers la production sans nul autre souci. Nous avons tenu et tenons de plus

en plus pour un fait acquis que les sols agricoles sont des sols agricoles et que les sols forestiers sont des sols forestiers. **À mon avis, rien n'est plus faut ni plus simpliste!** La vérité la plus élémentaire veut que les sols forestiers aient donné naissance, par dégradation le plus souvent, aux sols agricoles. Cet énoncé, vu sous l'angle physique ou chimique n'a que peu d'intérêt, mais sous l'angle biologique, il nous transporte dans un autre monde, où les données et les phénomènes ont une autre dimension et apportent des solutions nouvelles et différentes.

Si la biologie tient la portion congrue dans la pédologie, je pense que les questions abordées plus haut en sont la cause, mais il faut également ajouter la facilité de mesurer les paramètres physiques et chimiques du sol par l'ensemble des appareils modernes, et celle de tout porter sous forme d'équations par l'intermédiaire de l'informatique. Aussi longtemps que l'aspect biologique des sols n'a pas été cerné dans ses fondements mêmes, la science exacte a eu beau jeu. Nous voici maintenant de l'autre côté du miroir aux illusions, et malgré tout, nous sentons et mesurons par notre pouvoir d'achat que des contrôles tenus pour acquis, nous échappent à une vitesse de plus en plus grande. Pour ce qui est de nos meilleures terres, nous sommes aux prises avec les problèmes de la «surfertilisation», de la pollution des grandes nappes phréatiques, de la réduction de la diversité incontrôlée aussi bien dans le domaine agricole que forestier. Nous avons tous succombé aux contrôles chimiques et biochimiques et ce, à tous les égards.

Un regard agricole sur le sol forestier.

Lors d'une rencontre avec des pédologues de l'Université de Guelph en Ontario, ceux-ci m'avouèrent leur étonnement de se faire dire par des forestiers que s'ils voulaient vraiment comprendre le sol, ils n'avaient qu'à se pencher sur le sol forestier. La découverte et la promotion des BRP à la fin des années 70 par **Guay, Lachance et Lapointe** (1982), venaient pourtant de porter la forêt dans le domaine agricole. L'hilarité des agronomes, ce voyant, fut générale à peu de choses près. Il nous aura fallu plus d'une décennie pour que nos agronomes passent de l'hilarité à la réflexion, tant notre anthropocentrisme est grand et superbe.

Il faut tout de même admettre que durant un siècle la perception agricole des aspects biologiques du sol fut avant tout question de maladie et de compétition, générant ainsi la kyrielle de poisons que nous fournit maintenant l'industrie chimique. Il n'est donc pas étonnant que l'arrivée du bois dans l'agriculture ne suscite que railleries et quolibets.

L'une des grandes découvertes des pédologues agricoles de ce siècle fut sans doute la présence du complexe argilo-humique, où «matière organique» et argiles sont liées pour donner les meilleurs sols et les meilleurs rendements agricoles. Ceci considéré, de nombreuses études portèrent sur le rôle de ce complexe dans la nutrition minérale des plantes. Je suis d'avis que l'agriculture a contribué d'une façon très importante à l'accumulation des connaissances de base pour mieux comprendre notre monde. Toutefois, les choses se gâtent, lorsque, pour augmenter les rendements mesurés en termes économiques, on est passé subitement à des vitesses sans cesse accélérées et basées sur la

disponibilité des nutriments chimiques, dont l'azote est encore le principal. Nous venions ainsi d'excéder la capacité et la nécessité du complexe argilo-humique, en allant directement à sa dégradation qui serait compensée par des contrôles sur tous les paramètres, comme je l'ai souligné plus haut.

Les choses se dégradent maintenant, lorsque le complexe argilo-humique se métabolise par les mêmes microorganismes qui l'ont suscité, les membres de la communauté biologique du sol. Ne portant attention, depuis des décennies, qu'à la «matière organique» pour des fins bassement physiques comme la rétention de l'eau et des nutriments, l'ensemble des microorganismes ont vu leur communauté décimée, puis remplacée par des «plus costauds» qui se contentent de moins de nourriture, tout en étant beaucoup plus agressifs. C'est ainsi qu'on passe insensiblement à l'aire des composts dont le but premier est d'assurer aux plantes une nourriture chimique équilibrée, mais sans assurer pour autant la réfection des dommages causés par l'«artificialisation» à outrance de nos méthodes de culture. C'est ici que prend naissance la notion d'«agriculture biologique». Deux éléments frappent ici: une diminution des rendements et une utilisation des composts comme fertilisants. La pénalité pour les producteurs est double: avec une baisse des rendements, on doit augmenter les prix, et en augmentant les prix, on restreint le marché en stimulant la contrefaçon. Pour beaucoup, cette façon de voir et de faire atteint la ferveur religieuse et glorifie le passé. À ce chapitre, toutes sortes de théories «naturalistes» ou «homéopathiques» ont vu le jour au début de ce siècle, particulièrement en Allemagne et aux USA.

En introduisant un «produit» de la forêt en agriculture, **Guay, Lachance et Lapointe** (1981, 1982), ouvrent la porte sur un univers que personne n'avait soupçonné jusqu'ici, celui de la pédogénèse régit par la biologie du sol avec des équilibres contrôlables et le plus souvent «autocontrôlés», laissant loin derrière le monde des fertilisants, des maladies et des miracles qui fut celui de l'aire des produits chimiques. Ici, les éléments chimiques du tableau de Mendéléïeff sont les briques et les matériaux qui construisent la vie, source de phénomènes extraordinaires, en assurant partiellement la régie, mais en aucun cas la dynamique. En ajoutant leurs «copeaux» au sol, **Guay, Lachance et Lapointe** font de l'«entropie» caractérisée, avec une augmentation de la biodiversité, de la fixation d'énergie, et de la productivité, avec des réductions correspondantes de carences minérales ou hydriques, de maladies ou d'insectes comme le puceron chez les fraisiers.

Ces manifestations ont pris place à travers le sol qui, lui-même, a modifié sa structure et sa coloration, avec des apports minéraux peu importants et surtout, avec une augmentation considérable de la «matière organique» en un court laps de temps. Pour la première fois, on ne voit pas de relation entre la présence de nutriments et l'augmentation de productivité. Il en ira de même avec la disponibilité de l'eau qui, même en petite quantité, est parfaitement efficace pour assurer la croissance des plantes. Ces deux points viennent d'être corroborés par nos recherches en Afrique (**Seck, 1993**), où, en utilisant les BRF de *Casuarina equisetifolia*, la production a doublé et le pH s'est stabilisé autour de la neutralité, ce qui a permis une meilleure croissance et une réduction de l'irrigation sur la

tomate amère (*Solanum æthiopicum*). Ce sont les mêmes modifications que nous observons au Québec.

Si l'utilisation des BRF apporte des changements fondamentaux dans la productivité agricole, je penche de plus en plus pour une explication purement forestière. Nous apportons un équilibre biologique disparu depuis des siècles à des sols uniquement perçus comme support physique. Déjà, les cultures hydroponiques ont prouvé cette perception dans la première partie de ce siècle, non sans succès économiques. Mais à bien y penser, qu'elle est donc l'origine de nos sols agricoles? N'ont-ils pas été forestiers durant des millénaires avant d'être labourés? De quels types de forêts sont-ils issus? On peut se poser ainsi des dizaines de questions, toutes plus intéressantes les unes que les autres. Réfléchies sous l'angle de la biologie des sols, elles suggèrent des réponses étonnantes qui, dès 1990, nous ont menés à des découvertes qui nous surprennent encore, tant elles sont simples et logiques. Nous avons émis l'hypothèse que les BRF faisaient référence à un phénomène universel dans le sol, dont l'expression est la pédogénèse connue depuis plus d'un siècle, mais d'une manière statique et descriptive.

En une décennie, nous sommes passés d'une perception «fertilisante» des BRF, en les comparant d'abord à des composts comme l'avait fait Jean Pain en France, pour remplacer les fumiers difficilement accessibles. Ces perceptions avaient comme base la disponibilité des nutriments, et comme mécanisme fondamental, la minéralisation. Cette perception s'est révélée insatisfaisante, n'apportant aucune explication aux changements profonds et persistants du sol et ce, sur de nombreuses années.

C'est ainsi que je me suis souvenu des phénomènes importants constatés par tous les colons qui font de la «terre neuve» à partir de la forêt naturelle sur pied. Après la disparition des arbres, les premières récoltes sont excellentes, mais présentent rapidement des baisses de rendements d'année en année. Il n'y a que l'apport de produits permettant la minéralisation et la mise en disponibilité pour maintenir, pendant un temps, des rendements convenables, mais qui laissent place à une rentabilité décroissante, puis à l'abandon des pratiques agricoles ou au retour artificiel à la forêt. Nous sommes en présence d'un phénomène enthalpique caractérisé par une réduction de la diversité, de l'énergie disponible et de l'«artificialisation» par l'homme des systèmes pour en retirer de maigres bénéfices.

L'apport de BRF au sol agricole ne serait-il pas l'inverse du phénomène de la «terre neuve»? **Ne serions-nous pas en face d'un mécanisme d'aggradation plutôt que de dégradation si familier à tous?** Ceci nous a amenés à regarder de près la littérature scientifique de ce siècle, afin de poser un jugement sur la perception des mondes agricole et forestier, sur les mécanismes que nous avons identifiés concernant les effets des BRF sur la pédogénèse. En ceci, j'ai été sollicité et encouragé par M. Edgar Guay qui venait de prendre sa retraite en tant que sous-ministre au ministère des Forêts du Québec, et chercheur invité au département des Sciences Forestières de mon université.

Une recherche décevante

C'est sans trop d'enthousiasme que je me suis laissé entraîné dans cette aventure que je savais d'avance mener à des lieux communs ou à des perceptions venant directement du XIX^e siècle. Durant la décennie 70, j'ai été fortement impliqué dans la conservation des écosystèmes terrestres, tant canadiens que québécois. En tant que membre du Comité Canadien pour le Programme Biologique International (CCPBI), il me semblait que les connaissances des mécanismes intimes régissant les écosystèmes forestiers et terrestres en général, étaient des plus primitives. Il était évident que tout reposait sur les connaissances acquises par l'agriculture et la physiologie végétale, gravitant principalement autour de la disponibilité des nutriments chimiques où l'azote était l'enfant chéri. Mais comment intervenir dans des peuplements séculaires, composés de plantes souvent ligneuses, avec des techniques agricoles? Il y avait là une incongruité fondamentale, mais dont il était difficile, sinon impossible, de pénétrer les secrets et les mécanismes.

Toute la dialectique de ce siècle est basée sur la perception chimique et la notion de fertilisant, ce que corroborent toutes les analyses chimiques. À ceci, on ne peut que souscrire, sauf s'il s'agit essentiellement de mécanismes cycliques assurant la vie de la plante, non de l'écosystème, en fonction du temps. Or, les sols agricoles appelés à de faibles rendements sur des terres fertiles avec un système humique peu sollicité, se sont assez bien acquittés de leur tâche de produire la nourriture nécessaire à l'Homme. Dès que ces sols ont été soumis à des pressions plus fortes, avec l'introduction de fertilisants supplémentaires et azotés en particulier, les règles du jeu ont été complètement bousculées et le régisseur de la vie, le système humique, a été emporté, digéré par les microorganismes incapables de trouver l'énergie nécessaire au maintien de leurs communautés (Perry, Amaranthus et al., 1989). C'est ainsi qu'il nous apparaît évident maintenant que les terres soumises à l'agriculture intensive voient leur système humique digéré, emportant ainsi leur structure par la perte des agrégats, une augmentation de la compaction, une diminution du pH, etc.

La lignine des Angiospermes

La leçon la plus importante que nous tirons de ce phénomène moderne est de constater que la nature prévoit le cyclage des nutriments et permet qu'on en ajoute certains, mais qu'elle n'a rien prévu pour la reconstruction du système humique. Mais, au fait, qu'est-ce que le système humique? De quoi est-il composé? Comment fonctionne-t-il? Pourquoi les systèmes humiques des forêts conifériennes sont-ils si différents de ceux des forêts feuillues climaciques? Quelles sont les différences entre les tourbes et les humus? Voilà un ensemble de questions susceptibles d'apporter des réponses et de placer correctement les BRF dans le débat de la pédogénèse, plutôt que dans celui, traditionnel, des composts, fumiers et consorts.

Avant de s'attaquer à l'origine de l'humus, de sa composition et de son rôle, voyons comment se comportent les deux grands écosystèmes forestiers que sont les forêts feuillues climaciques (chênaies, érablières) et les forêts conifériennes (sapinières, pessières). Bien que très marginal au Québec, le chêne rouge (*Quercus rubra*) n'en est pas

moins largement distribué dans l'érablière et forme occasionnellement des peuplements homogènes. **Le chêne rouge en peuplement homogène ou en association avec l'érable à sucre (*Acer saccharum*), donne toujours, à notre connaissance, des brunisols avec un humus du type mull.**

En ce qui regarde l'érablière, les choses se présentent différemment, puisque ce type de peuplement possède, soit des brunisols profonds dans le sud du Québec, soit des sols podzolisés dans l'est avec un cortège floristique passablement différent. **L'érablière sera caractérisée par une grande versatilité d'adaptation, avec des humus allant d'un mull caractérisé au moder feutré.** Dans le dernier cas, le sol est podzolisé, avec un horizon Ae généralement rosé.

Quant aux **forêts conifériennes climaciques et mésiques, elles sont caractérisées par des podzols avec un mor typique.** Nous faisons ici abstraction de tous les types de peuplements azonaux reposant sur des sols tourbeux organiques ou rankers. Ainsi, selon les arbres qui forment le peuplement de surface, nous obtenons des brunisols, brunisols aléatoires, sols podzolisés ou podzols. Aux deux extrémités (chênaie et résineux), les sols sont fortement caractérisés, alors qu'au centre, la caractérisation est plus floue, allant de l'un à l'autre en fonction de la répartition géographique.

Dès 1985, nous avons établi un petit dispositif regroupant 25 espèces d'arbres dont nous avons fragmenté les rameaux et disposé les BRF sur de petites parcelles de 2 à 3 m² sous la canopée de l'érablière, à raison de 3 à 5 cm d'épaisseur. Des observations annuelles, portant sur la structure et l'importance de la litière, la régénération et le pH, montrent dès 1989, des modifications qui seront très perceptibles à l'automne 1990 chez la parcelle de *Quercus rubra* (Lemieux et Toutain, 1992), et l'année suivante chez celle de *Carpinus caroliniana*. En 1992, c'est la parcelle de *Carya cordiformis* qui se transforme ainsi que celle de *Tilia americana*. Toutes ces essences proviennent d'une érablière à chêne rouge, caryer, charme et tilleul sur sol brun calcimorphe profond de la région montréalaise. À partir de 1993, d'autres essences comme l'érable rouge ou le tremble, ont apporté des changements dans la nature de l'humus et des processus de podzolisation. Après 9 années, nous avons une preuve indirecte que les BRF d'une essence provenant d'un peuplement plus riche peuvent induire des changements dans la structure du système humique, en dehors des contraintes physiques imposées par les facteurs du milieu. Voilà donc une première preuve que l'origine du matériel organique apporté a une influence sur le type de transformations qu'il provoque. Ceci nous a portés définitivement sur la piste de la **pédogénèse** avec l'utilisation des BRF, laissant présager qu'en utilisant un tel matériau en agriculture, nous pourrions obtenir des changements fondamentaux et d'une relative stabilité.

En fait, cette piste pédogénétique est bien séduisante, mais quels sont donc les mécanismes qui en sont responsables? Nous savons, par les expériences de **Guay, Lachance et Lapointe**, que les BRF de résineux sont moins efficaces, voire même délétères, lorsqu'ils sont employés en grande quantité; ils mènent directement au podzol ou donnent de bien moins bons résultats lorsqu'ils sont utilisés en agriculture. Ces facteurs

sont-ils uniquement chimiques, comme nous le suggère la littérature édaphique avec des supports physiques? Ne seraient-ils pas d'ordre biochimique à cause de la nature de la composition du bois? Le bois des rameaux est-il analogue à celui du tronc? Quel est donc le rôle de la biologie dans le sol?

Voici une belle série de questions qui n'ont que peu de réponses faciles, et le plus souvent, aucune réponse, si ce n'est que par le biais des recherches agricoles qui, grâce à un long passé scientifique, ont exploré au fil des décennies, des aspects que les sciences forestières soupçonnent à peine. C'est ici que nous avons compris pour la première fois que le monde forestier était perçu à travers les découvertes agricoles, dans une optique proprement productiviste et à court terme. **Il y aurait donc une inversion des réalités où l'agriculture cache l'arbre, qui lui, cache la forêt!**

Cette vérité nous est apparue encore plus flagrante, lorsque nous avons examiné la littérature scientifique pour connaître les travaux relatifs à ces petits rameaux, dont la production annuelle atteint des milliards de tonnes de par le monde. Nous n'avons rien trouvé, même pas la description biochimique comparative entre le bois des rameaux que nous avons appelé à l'époque «bois raméal» (Lemieux, 1986), et le «bois caulinaire» ou bois de tronc, exploité de tous temps.

Ce n'est que plus récemment que nous nous sommes intéressés de plus près aux mécanismes intimes qui président à la transformation des résidus ligneux. Comment les rameaux de petits diamètres ainsi fragmentés pouvaient-ils apporter de tels changements au sol, mais cette fois d'une façon positive en favorisant les facteurs entropiques au détriment des enthalpiques? Les premiers auteurs qui nous ont vraiment mis sur la piste sont sans contredit Bachelier (1978) puis Gosz et al (1978), Jones (1989), Leisola et Garcia (1989), Perry, Amaranthus et al. (1989). Plus récemment, notre intérêt s'est également porté sur les résultats de la dépolymérisation de la lignine et l'influence fondamentale des polyphénols ou des terpénoïdes chez les Gymnospermes (Swift et al. 1979).

Il va de soi qu'aucun des auteurs que nous venons de citer ne fait allusion au bois raméal ou à ses constituants pouvant avoir une influence quelconque. Nous devons nous rabattre sur la littérature la plus récente qui touche de près les mécanismes de la pédogénèse autres que les mécanismes chimiques liés aux nutriments. Ainsi, il nous est apparu évident après les travaux de Leisola et Garcia (1989), mais également ceux de Tien (1983), Dordick et al. (1986), Kirk et Farrell (1987), Vicuna (1988), que **la dépolymérisation de la lignine était fondamentale dans la constitution de la pyramide de vie dans le sol.**

C'est ainsi que, pour la première fois, nous voyons clairement les mécanismes biochimiques et biologiques à la base de la production des fractions fulviques et humiques. Alors que tous pensaient que les bactéries étaient à la base de la dépolymérisation de la lignine, par l'intermédiaire de systèmes enzymatiques précis, [Tien, (1983), Leisola et Garcia (1989)] nous montrent le rôle fondamental des Basidiomycètes dans ce système, empêchant la condensation des polyphénols en produits aliphatiques, tout en protégeant les

noyaux benzéniques. La structure de la lignine [(Swift et al 1979), Larochelle (1993)] permet maintenant de mieux comprendre pourquoi les sols évoluent différemment sous les résineux et les feuillus.

Restent les humus de feuillus qui sont souvent variables comme le démontrent les sols sous l'érablière. La réponse nous est apportée par les travaux de **Toutain** (1993) et de **Pagé** (1993) qui nous montrent l'influence fondamentale de la microfaune sur la transformation de la matière ligneuse, en particulier en ce qui regarde les lombrics et les enchytréides. Ainsi, **Toutain** démontre l'effet pervers des enchytréides sur le travail et les turicules des lombrics, tout en soulignant l'effet de la production de l'acide oxalique, causée par la transformation des BRF par les Basidiomycètes, dans le processus de podzolisation dans les forêts feuillues comme les érablières, les tremblais ou les bétulaies. On observe maintenant que la transformation des BRF et la mise en disponibilité des nutriments, se fait de façon analogue à la transformation des sphérules provenant de la condensation des pigments bruns des feuilles sénescentes.

Une meilleure interprétation de l'action des BRF

Il va de soi que le colloque de septembre 1993, tenu à Val d'Irène dans la Vallée de la Matapédia, aura été un tournant important dans la compréhension des phénomènes fondamentaux que nous avons observés depuis plus d'une décennie. Nos interprétations souvent perçues à l'extérieur comme étant de simples prétentions, commencent à montrer une cohérence à la fois logique et étonnante. La vision et la compréhension que nous avons de l'évolution des sols et de la place qu'occupe le système humique, vont modifier la perception des pédologues et des agronomes. Les impacts devraient être majeurs, tant en agriculture qu'en foresterie.

L'histoire des peuplements prend ici une autre coloration avec une modification du système humique induite par la végétation, au même titre que le climat et les caractéristiques géologiques. La modification de l'humus passant du moder au mull, par application de BRF de chêne rouge et de d'autres essences, nous indique l'influence fondamentale des BRF sur le milieu, cette fois à travers la pédofaune. Il n'y a pas de miracle, mais une suite logique d'évènements dont le résultat se concrétise après quelques années. Le type de végétation de la canopée et la diversité des espèces du cortège floristique, seront responsables de la qualité du système humique qui, à son tour, sera le régulateur du cycle des nutriments. Puisque la transformation des tissus végétaux en humus ne se fait pas selon les équations chimiques prédites en laboratoire, il doit bien y avoir d'autres chemins palpables.

La «filière fongique» et la «barrière aliphatique».

Il est évident que la filière bactérienne existe et est bien connue dans la «dégradation» des matières organiques ou «ligno-cellulosiques», terme technique utilisé par les agronomes. Il en va autrement lorsque le bois, dont la lignine est peu polymérisée (BRF), entre en contact avec le sol.

Lorsque les rameaux touchent le sol, ils sont immédiatement envahis par une horde de champignons et de bactéries. De tout temps nous avons considéré que cette action était bienfaisante parce qu'elle faisait disparaître ces «déchets» du travail de l'homme, tout en lui laissant les «bénéfices» de son labeur. Toutefois, sans contact intime avec le sol, ces rameaux sont utilisés aux seuls profits de ceux qui s'y attaquent en retournant à l'atmosphère, l'énergie, l'azote, l'eau et le CO₂, mais sans autres bénéfices. La partie la plus vulnérable des rameaux est sans contredit la pousse annuelle qui contient l'ensemble des produits les plus facilement dégradables. Pour se protéger, les jeunes tiges possèdent un revêtement cireux représenté par la pruine, ainsi qu'un épiderme résistant aux attaques fongiques et bactériennes, mais non à celles d'origine mécanique.

La fragmentation des jeunes rameaux permet donc une attaque massive, principalement des champignons lignolytiques et cellulolytiques provenant de souches édaphiques qui dépolymériseront la lignine, pour en faire des fractions humiques en intégrant l'ensemble des nutriments et de l'énergie au système édaphique. Les champignons cellulolytiques pour leur part, peuvent fixer l'azote par des systèmes enzymatiques bactériens «parasites» de leurs mycéliums (**Amaranthus, Li, et Perry, 1987**). Dans le sol, ces champignons servent également de nourriture (riche en protéines) à une faune abondante de microarthrodes (collemboles, cryptostigmates, mésostigmates) qui agiront comme régulateurs de la présence de nutriments chimiques dans la solution du sol.

On ne peut quitter cet aspect sans mentionner l'importance des champignons mycorhizateurs qui, en symbiose avec les plantes, servent de moyens de transport dans les deux sens, soit du phosphore à l'extérieur des cycles chimiques, ou des produits énergétiques sécrétés par le système racinaire alimentant également toute une flore et une faune symbiotique hypogée (**Ratnayake, Leonard et Menge, 1978**).

Sans fragmentation, ni la lignine, ni les nutriments ne sont accessibles pour la structuration du sol, la vie du système humique et celle des plantes. Les modes d'exploitation forestière actuels seraient donc, tout comme en agriculture, la cause même de la dégradation du sol par la «ruine» du système humique. Si l'agriculture intensive a pour but d'exporter ses nutriments, tel n'est pas le cas de la foresterie. C'est par ignorance ou mépris que les dégradations se font et qu'elles sont souvent érigées en systèmes économiques sans valeur (**Freedman et Lemieux, 1991**).

La «filière pédofaunique».

Cette «filière» est plus complexe, dépendante de la filière fongique en partie, mais également plus efficace et plus sophistiquée en intégrant une troisième filière: la filière microbiologique qui regroupe champignons, bactéries, algues, protozoaires, etc... Nous avons précisé plus haut que les microarthropodes dépendent des champignons et de leur sapidité qui, elle-même, est fonction des contenus en polyphénols, terpénoïdes, etc. [(**Sauvesty et al. 1993, Swift et al. 1979**)] du système édaphique en question. Il semble

cependant que les polyphénols soient plus facilement tolérés (humus de feuillus) que les terpénoïdes (humus de conifères).

La filière la mieux connue est celle des lombrics des grandes forêts climaciques feuillues de l'hémisphère nord. Les lombrics sont capables de digérer les sphérules de pigments bruns (**Toutain, 1993**), alors que peu d'autres organismes le sont. Les lombrics se situent donc à la base de la transformation des feuilles dans l'érablière sur sol brun, en provoquant la formation de turicules riches en colonies bactériennes, dont l'existence est assurée par la présence d'argile entourant ces dernières. Cette argile permet donc à ces colonies de passer à travers le tube digestif des lombrics et favorise des associations argilo-humiques extrêmement réactives. C'est la base de la fertilité qui trouve son écho en agriculture, d'où l'importance de l'argile.

Nous avons remarqué à de nombreuses reprises la prédilection des lombrics pour les BRF, tôt au printemps, lors de la ponte. Pour sa part, **Pagé (1993)** mentionne que les lombrics ont un attrait pour les BRF bien supérieur aux fumiers ou aux terreaux. Les lombrics ont donc une organisation particulièrement adaptée aux substances ligneuses, alors que la croyance voulait que ce soit les sols riches en azote qui les attiraient. Il semble ici que ce soit le faible degré de polymérisation de la lignine qui attire les lombrics.

Si le rôle des lombrics est bien reconnu, il en est également de celui des enchytréides qui, dans les érablières ou tout autre peuplement de feuillus nordiques, jouent un rôle non négligeable dans la pédogénèse. Dans l'érablière dégradée ou en voie de l'être, les enchytréides seraient responsables de la destruction des turicules de lombrics, se nourrissant des colonies bactériennes et favorisant l'évolution du processus de podzolisation. Ici, les pigments bruns ne sont que peu digérés par les lombrics, causant ainsi une accumulation et une texture spéciale de la litière connue sous le nom de moder.

Ceci rejoint en partie nos propos qui veulent que l'érable à sucre (*Acer saccharum*) ne soit pas une essence «enrichissante», ce que nous a confirmé, d'ailleurs, nos expériences de Saint-Damien. La qualité des milieux édaphiques qu'il contribue à édifier est due vraisemblablement aux essences et espèces compagnes, dont le tilleul (*Tilia americana*), le frêne blanc (*Fraxinus americana*) et le chêne rouge (*Quercus rubra*) ne seraient pas les moindres.

En ce qui regarde les peuplements de conifères, il va de soi que les mécanismes doivent être différents, puisque le comportement du complexe phyto-humique est tout à fait distinct. La pédofaune y est peu abondante et les Basidiomycètes sont remplacés par les champignons de la pourriture brune (**Rayner et Boddy, 1988**). Ces deux caractéristiques, associées à une lignine de structure différente, donneront un mor, humus brut dont les mécanismes de transformation sont inhibés en large partie, fixant ainsi une grande partie des protéines où l'azote est immobilisé. Cette mauvaise transformation est liée, en partie, à la dépolymérisation de la lignine par des bactéries plutôt que des champignons, donnant ainsi de grandes quantités de polyphénols et de substances aliphatiques.

Vu sous un autre angle, l'ensemble de ces phénomènes est intimement lié à la «stratégie» de compétition des conifères, qui éliminent les concurrents en réduisant les peuplements à une, ou à un nombre restreint d'essences. C'est donc la stratégie inverse des peuplements feuillus climaciques qui suscitent la concurrence et la «polyspécificité», allant même jusqu'à s'associer à des essences résineuses (*Pinus strobus*, *Tsuga canadensis*, *Picea glauca*). Ce phénomène est largement causé, chez les résineux, par la présence d'un grand nombre de produits antibiotiques dans le système humique, qui restreignent à la fois la transformation de la matière ligneuse ainsi que la germination et le développement de concurrents.

La «filière microbiologique».

Cette troisième filière, bien que très répandue, représente l'état microbiologique de la dégradation où tous les mécanismes connus décrits précédemment, ne sont plus efficaces ou sont fortement perturbés. C'est particulièrement le cas des sols agricoles, dérivés à l'origine des sols forestiers, qui semblent être un capharnaüm inextricable où tout est mêlé. C'est ce capharnaüm qui a poussé les hommes de science à tirer le meilleur parti de la situation en proposant des méthodes de plus en plus artificielles. Comme le système humique est le régulateur de la vie et de la disponibilité des nutriments, il a dû faire place à des formes de vie de plus en plus restreintes et de moins en moins diversifiées. La diversification se verra chez les champignons par la réduction des phénotypes adaptés à des milieux de moins en moins riches.

Ainsi, les bactéries peuvent dégrader la lignine, au même titre que les Basidiomycètes, Ascomycètes, Actinomycètes, etc., mais à un rythme beaucoup plus lent et plus aléatoire. Les bactéries ne pouvant retenir indépendamment les deux fractions à haut et faible poids moléculaire, il y a recombinaison sous forme de polyphénols et de substances grasses aboutissant aux acides linoléiques stables (**Mourey 1989**) qui sont des agents importants causant la podzolisation. Ainsi, en présence d'une nappe phréatique élevée, nous obtenons des tourbes qui peuvent évoluer par minéralisation, mais ne forment jamais un véritable sol comme sous l'aulnaie (*Alnus rugosa*). Encore une fois, il semble bien que ce soit la lignine qui soit au centre des processus pédogénétiques; selon les essences et les conditions biologiques du milieu, elle donnera, sous les forêts résineuses, des tourbes ou des sols fortement podzolisés, mais sous les forêts feuillues climaciques, des sols podzolisés ou brunisoliques. Il y a des exceptions pour ce qui est des forêts azonales comme l'aulnaie blanche, où tous les types de forêts dégradées par l'exploitation des grumes sont sensibles à la remontée de la nappe phréatique.

Notre propos n'est pas ici de faire la démonstration de tous les systèmes microbiologiques capables de participer à la pédogénèse ou à la formation des sols organiques, mais la filière de ce domaine compte sur la présence de fractions humiques qui sont utilisées par les bactéries comme milieu de vie et réserve énergétique. Ces bactéries font l'objet de prédation de la part des protozoaires qui, à leur tour, sont l'objet de prédation de la part des arthropodes, eux-mêmes formant la base de l'alimentation d'insectes ou

d'acariens prédateurs, passant successivement aux amphibiens, aux reptiles, oiseaux et mammifères.

Bien que schématique et plus complexe qu'il n'en paraît de prime abord, un sol forestier représente donc la somme de l'évolution de notre monde depuis les virus jusqu'aux mammifères. C'est l'équilibre édaphique en harmonie avec tous les facteurs du milieu. Pour sa part, le sol agricole n'est que le pâle reflet de cette diversité. Il aura été caractérisé assez tôt par la valeur du complexe argilo-humique. Cette caractérisation n'est pas inutile, mais elle est le premier pas de la perception physique, et plus tard, de la perception chimique. Cette tangente aura été le moteur du développement agricole, accompagnée en contrepartie, de mauvaises herbes de plus en plus agressives, de maladies à virus, d'insectes et des maladies fongiques de plus en plus virulentes.

Vu sous cet angle, il est plus facile de comprendre que malgré des quantités importantes de «matière organique» toujours présentes, le sol forestier dégénère et tend toujours vers des peuplements de moins bonne qualité, à productivité plus faible, donnant des bois d'une qualité sans cesse décroissante. La perception agricole des sols forestiers nous conduit insensiblement vers la ruine à cause des investissements nécessaires, le manque de moyens de contrôle, la baisse de qualité et l'impossibilité dans un cycle économique aussi long, de rencontrer les futurs besoins du marché. Du point de vue agricole, le maintien contrôlé de la dégradation, l'abondance des capitaux et la possibilité de devancer la demande du marché, poussent à une dégradation encore plus systématique, mais dont les effets pervers sont masqués par l'abondance des techniques cosmétiques, toutes basées sur la productivité virtuelle.

La «filière biochimique»

La particularité du système humique qui nous occupe, repose sur le fait qu'il est la «créature» des plantes qui font partie du système épigé, et qu'il assure en retour la gérance des éléments physiques et chimiques qui sont la base de la vie de cet écosystème épigé. Beaucoup a été dit sur la structure du sol, particulièrement sur les agrégats argilo-humiques (**Lynch et Bragg, 1985**), et sur ceux induits par les polysaccharides extracellulaires des champignons du sol en absence de micelles argileuses. Toutefois, il est de plus en plus certain que la constitution du système humique repose sur la lignine et les complexes engendrés avec les protéines, elle-mêmes fixées sur des polyphénols; c'est le complexe tanins-protéines. Toutes les dégradations prennent leur source dans la désintégration de ce complexe, à la fois support de la vie, et nourriture pour les microorganismes responsables de la synchronisation de la mise en disponibilité des nutriments pour la croissance des plantes.

Selon **Pagé** (1993) et **Toutain** (1993), la matière végétale fraîche arrivant au sol voit ses constituants utilisés ainsi: les sucres et les pectines sont utilisés comme «carburant» par les microorganismes, la cellulose et l'hémicellulose, comme constituants des microorganismes, alors que la lignine, les polyphénols, les protéines et les acides aminés sont la base du métabolisme de l'azote et de la constitution des éléments les plus perma-

nents du système humique même. Dans son travail sur l'impact et la qualité des BRF, **Larochelle** (1993) montre que, malgré leur richesse en protéines donc en azote, les BRF d'aulne (*Alnus rugosa*) ne contribuent pas à l'augmentation de l'azote non hydrolysable du sol. Pour leur part, les BRF d'érable à sucre (*Acer saccharum*), moins bien pourvus en azote protéique au départ, fournissent une bonne contribution au pool de l'azote non hydrolysable du sol, c'est-à-dire avec l'apport de protéines capables de s'associer aux polyphénols-tanins pour constituer l'humus. C'est ici qu'il faut chercher à comprendre la nécessité de la qualité du système humique, en ce qui regarde l'azote et sa mise en disponibilité pour la plante dans la reconstitution des acides aminés, base des protéines et de tous les systèmes enzymatiques.

De retour au bois raméal fragmenté!

Après avoir pris connaissance de toutes ces filières, il devient intéressant de retourner à nos expériences sur les BRF, tant en agriculture qu'en foresterie. Toutefois, c'est l'agriculture qui suggère les premières réponses intéressantes à la question qui a souvent été la source de l'hilarité de nos collègues agronomes. **Comment est-ce possible de produire mieux et plus sans un apport correspondant de nutriments fondamentaux comme N - P - K?** Les propos que nous venons de tenir démontrent que les BRF sont un apport à la structuration du système humique avant tout, non pas un apport brut de nutriments chimiques.

La complémentarité est double: les BRF apportent les matériaux nécessaires et tous les rouages biologiques de la pédogénèse se trouvent automatiquement remis en état. Il faut admettre, pour ce faire, que l'histoire de la presque totalité des sols agricoles de notre planète montre une origine forestière et que tous les constituants biologiques ont évolué dans ce contexte. Ce n'est pas quelques siècles qui ont fait disparaître les espèces adaptées à ces conditions. Dès le retour du matériel forestier, les conditions changent, pourvu que les champignons capables de dépolymériser la lignine soient actifs.

En ce qui regarde les sols forestiers, il semble bien que nous soyons tributaires avant tout de la filière pédofaunique pour leur remise en état, comme le démontrent les expériences de Saint-Damien qui s'étendent sur près d'une décennie. Dans les deux cas, il faut remonter à la filière microbiologique qui est la plus résistante, mais également la moins productive.

Dès que le système humique est suffisamment rééquilibré, il permet d'utiliser à des fins productives des quantités de nutriments moindres, mais en équilibre, pour des rendements plus élevés. Ainsi, la réduction des besoins en eau pour une croissance supérieure, n'a cessé de nous intriguer jusqu'à ce que l'on comprenne que l'eau la plus disponible est celle dérivée directement du métabolisme des microorganismes qui, en dégradant la cellulose ou les sucres, fournissent de l'eau et du CO₂. Il en va de même de l'azote qui provient de la minéralisation des corps microbiens et des protéines, directement assimilable par les plantes. Cet azote provient en partie de la fixation par voie bactérienne et du recyclage des éléments comme les acides aminés ou les protéines des tissus végétaux

morts. Il en va de même des champignons qui ont utilisé la cellulose pour en faire des protéines qui, par désintégration bactérienne, cèdent l'azote à la solution du sol. Toutefois, il faut noter que la présence de trop grandes quantités de polyphénols est susceptible d'apporter des perturbations et surtout des inhibitions dans les échanges entourant l'azote.

On peut noter également l'importance de l'azote en ce qui regarde l'efficacité des mécanismes enzymatiques responsables de la dépolymérisation de la lignine (**Jones & O'Carroll, 1989**). On ne peut donc pas négliger ce paramètre, mais cette fois dans l'optique d'un système humique performant dans sa régie des nutriments, non pas dans la productivité directe de la récolte. Je pense que nous apportons ici un élément important à la compréhension des mécanismes fondamentaux des facteurs d'équilibre et de croissance, plutôt que de considérer les fractions humiques comme facteurs «fertilisants» [**Kristeva (1953), Phuong et Tichy (1976), Visser, (1986)**].

La mélanisation du sol après moins de trois mois, observée à plusieurs reprises en milieu agricole, nous semble conforme en bonne partie aux observations de **Leisola et Garcia (1989)**, voulant que ce changement de teinte exprime le passage de la lignine vers les fractions humiques et fulviques. Ceci nous semble d'autant plus vraisemblable que **Guay, Lachance et Lapointe (1982)** ont observé un changement de la couleur du sol à la suite du passage des instruments aratoires d'une parcelle traitée à une autre non traitée, les deux ayant exactement le même pourcentage de «matière organique». Nous émettons l'hypothèse, dans ce cas, que de nouvelles souches de Basidiomycètes auraient provoqué ce phénomène. Toutefois, sans apport de BRF, l'azote disponible fut moindre, ce qui se traduisit par un feuillage plus pâle et une taille des plantes moins élevée, ainsi qu'un nombre de grains par épis plus faible chez l'avoine.

Dans un bref exposé, **Furlan et Lalande (1993)** montrent dans un champ traité, une explosion de la population et des espèces de champignons. Après plusieurs mois, les résultats apparaissent plus intéressants encore quant à la présence de phosphatase alcaline et à la relation entre les champignons du sol et les mycorrhizes.

La méthode expérimentale.

Il s'avère de plus en plus plausible que les BRF soient avant tout un matériau expérimental de première importance, permettant de comprendre la filière biologique au sens large et d'en faire l'expérimentation. Le faible degré de polymérisation de la lignine des rameaux à petit diamètre confère à ce matériau des propriétés exceptionnelles. Ainsi, les feuilles de la litière sont pauvres en lignine et les nutriments toujours sous une forme non assimilable, à cause du complexe polyphénols-protéines des pigments bruns. Les BRF montrent donc des dispositions analogues, mais les nutriments sont directement disponibles aux microorganismes, les barrières aliphatiques ou cutanées étant transgressées.

Nos premières expériences nous montrent, par ce matériau, un très grand potentiel de régénération du système humique des sols dégradés, dans une optique parfaitement connue, plutôt que de se fier aux rebus de notre monde qui n'ont pour fins que

la disparition des déchets pour en retirer de maigres bénéfices. Bientôt, nous saurons comment rebâtir un système humique productif et équilibré, mais la recette n'est pas toute faite. Il nous manque les connaissances fondamentales dont les preuves sont apportées par la méthode expérimentale.

Je me permets ici de souligner le fait que tous les écosystèmes végétaux sur terre ont la capacité de cycliser les nutriments, mais il semble bien qu'aucun ne puisse refaire le système humique, puisque les déserts avancent toujours malgré nos connaissances en chimie et en physique. C'est ici qu'il faut chercher les réponses à la réduction des espèces sur notre planète, non pas en produisant de nouvelles espèces résistantes aux dégradations. C'est vraiment le comble du ridicule dans lequel nous engouffrons des centaines de millions! Pire encore, personne se s'élève contre cette tendance et aucun débat éclairé et intelligent n'est audible.

Comment avancer...?

À mon avis, le problème atteint une telle ampleur qu'il faut nous y attaquer sous toutes les latitudes. L'expérience que nous menons en Afrique nous indique que le système humique est d'une constitution et d'un fonctionnement universels, mais avec des variations locales. Il faut donc un mouvement international basé sur des expériences nationales où les universités joueraient un rôle de premier plan. Il est urgent de nous dissocier du mode actuel du productivisme et la vision anthropocentrique de notre univers.

Nous devons songer, à moyen terme, à la mise sur pied d'une organisation internationale portant sur la connaissance des systèmes humiques, d'où devraient surgir de véritables facteurs d'équilibres, dont la résonance économique devrait être énorme, puisqu'il faut s'exprimer ainsi dans le monde actuel.

Cependant, un fait fondamental demeure: le sol agricole dérive du sol forestier, non pas l'inverse comme nos pratiques actuelles nous le suggèrent. Nous avons toujours mis la charrue devant les boeufs avec toute la bonne volonté du monde.

BIBLIOGRAPHIE

- Amaranthus, M.P., Li, C.Y. & Parry, D.A. (1987)** «Nitrogen fixation within mycorrhizae of Douglas-fir seedlings». In *Mycorrhizae in the Next Decade: Practical Application and Research Priorities*. D.M. Sylvia, L.L. Hung and J.H. Graham editors. University of Florida, Gainesville.
- Bachelier, G. (1978)** «La faune des sols, son écologie et son action». Document technique n° 38. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outremer (ORSTOM), route d'Aulnay, 93140 Bondy, France, 391 pages.
- Dordick, J.S., Marletta, M.A. et Kilbanov, A.M. (1986)** «Peroxidases depolymerise lignin in organic media but not water». Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **83**: 6255-6257.
- Furlan, V. et Lalonde R. (1993)** «Discussion générale, Quatrième Colloque International sur les Bois Raméaux Fragmentés, Val d'Irène, Québec, Canada, septembre 1993, p.145-148. in *Les Actes du colloque*. G. Lemieux et J.P. Tétreault éditeurs, Université Laval, Québec, Canada.

- Gosz, J.R., Holmes, R.T., Likens, G.E. et Bormann, F.H. (1978)** «Le flux d'énergie dans un écosystème forestier» *Pour la Science*, juin 1978, p. 101-109.
- Guay, E., Lachance, L. et Lapointe A. (1982)** «Emploi des bois raméaux fragmentés et des lisiers en agriculture». Ministère des Forêts du Québec, 76 pages.
- Jones, A. & O'Carroll L. (1989)** «Biotechnological modification of lignin». Alberta Research Council, Technical Report, Edmonton, Canada, 18 pages polycopiées.
- Kirk, T.K. & Farrell, R.L. (1987)** «Enzymatic combustion: The microbial degradation of lignin». *Ann. Rev. Microbiol.* **41**: 465-505.
- Kristeva L.A. (1953)** «The participation of humic acids and other organic substances in the nutrition of higher plants». *Pochvivedenie* **10**: 464-469.
- Larochelle, L. (1993)** «L'influence de la qualité des bois raméaux fragmentés (BRF) appliqués au sol: effets sur la dynamique de leur transformation». p. 77-84, in *Les Actes du Quatrième Colloque International sur les Bois Raméaux Fragmentés*, G. Lemieux et J.P. Tétreault éditeurs, Université Laval, Québec, Canada. © ISBN 2-550-28792-4, FQ94-3014.
- Leisola, M.S.A. & Garcia, S. (1989)** «Le mécanisme de dégradation de la lignine» traduction française du texte anglais original publié dans *Enzyme Systems for Lignocellulose Degradation*, Galway Irlande, p. 88-89. Publié dans «Le bois raméal et la pédogénèse: une influence agricole et forestière directe». Université Laval, Québec. © ISBN 2-550-21267-3. Publication n° ER90-3128.
- Lemieux, G. (1986)** «Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol». Département des Sciences Forestières, Université Laval, Québec, 17 pages. © ISBN 2-550-21338-1 Publication n° ER89-1211.
- Lemieux, G. & Tétreault, J-P. (1993)** «L'origine forestière des sols agricoles: la diversification microbiologique par aggradation sous l'effet des bois raméaux fragmentés». Présenté en conférence à Bruxelles. octobre 1992. Université Laval, 31 pages y compris les discussions © ISBN 2-550-27481-4. Publication n° FQ93-3052.
- Lemieux, G. et Toutain, F. (1992)** «Quelques observations et hypothèses sur la diversification: l'aggradation des sols par l'apport de bois raméal fragmenté». Département des Sciences Forestières, Université Laval, Québec. 13 pages. © 2-550-26541-6 Publication n° 92-3103.
- Lemieux, G. (1993)** «L'aggradation pédogénétique, un processus universel sous l'influence des BRF: les effets sur la biodiversité et la productivité». FAO, Rome, décembre 1993. Université Laval, Département des Sciences Forestières. 6 pages.
- Lemieux, G. (1993)** «Le bois raméal fragmenté et la méthode expérimentale: une voie vers un institut international de pédogénèse» in *Les Actes du Quatrième Colloque International sur les Bois Raméaux Fragmentés*, p. 124-138. G. Lemieux et J.P. Tétreault éditeurs, Université Laval, Québec, Canada. © ISBN 2-550-28792-4 FQ94-3014.
- Lemieux, G, Lachance, L. et Lapointe, A. (1989)** «L'intersuffisance des écosystèmes épigé et hypogé». Texte original, traduction française et commentaires de Perry, D.A., Amaranthus, M.P., Borchers, J.G. Borchers, S.L. et Brainerd, R.E. «Bootstrapping in Ecosystems» *BioScience*, **39** (4): 230-237 (1989) Université Laval, Département des Sciences Forestières, 41 pages. © ISBN 2-550-21445-5 Publication n° ER90-3140.
- Lynch, J. M. & Bragg, E (1985)** «Microorganisms and soil aggregate stability». *Adv. Soil. Sci.* **2**: 133-171.
- Mourey, A. (1989)** «La lipolyse en milieux naturels et manipulés». Thèse de doctorat, Université de Nancy 1.
- Pagé, F. (1993)** «L'apport des bois raméaux en sols cultivés: le rôle de la pédofaune sur la transformation de la matière ligneuse». in *Les Actes du Quatrième Colloque International sur les Bois Raméaux Fragmentés*, p. 68-76. G. Lemieux et J.P. Tétreault éditeurs, Université Laval, Québec, Canada. © ISBN 2-550-28792-4 FQ94-3014.
- Pery, D.A., Amaranthus, M.P., Borchers, J.G., Borchers, S.L. & Brainerd, R.E. (1989)** «Bootstrapping in Ecosystems» *BioScience* **39** (4): 239-237.
- Phuong, H.K. & Tichy V. (1976)** «Activity of humus acids from peat as studied by means of some growth regulator bioassays». *Bio. Plant. (Prague)* **18**: 195-199.
- Prigogine, I & Stengers I. (1978)** «Order out of chaos». Bantam édit. Toronto, Canada.

- Ratnayake, M. Leonard, R.T. & Menge, J.A. (1978)** «Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal formation». *New Phytol.* **81**: 543-552.
- Rayner, A.D.M & Boddy, Lynne (1988)** «Fungal Decomposition of Wood». John Wiley & Sons. 597 p.
- Sauvesty, A., Pagé, F. & Giroux, M. (1993)** «Impact des milieux pédologiques en bosses et creux sur les teneurs en composés phénoliques et en éléments minéraux dans les feuilles d'érable à sucre en dépérissement au Québec» *Can. Jour. For. Res.* **23**: 190-198.
- Seck, M.A. (1993)** « Essais de fertilisation organique avec les bois raméaux fragmentés de filao (*Casuarina equisetifolia*) dans les cuvettes maraîchères des Niayes (Sénégal)». in *Les Actes du Quatrième Colloque International sur les Bois Raméaux Fragmentés*, p. 36-41. G. Lemieux et J.P. Tétreault éditeurs, Université Laval, Québec, Canada. © ISBN 2-550-28792-4 FQ94-3014.
- Swift, M.J. Heal, O.W, & Anderson, J.M. (1979)** «The influence of resource quality on processes». in *Studies in Ecology, vol.5. •Decomposition in Terrestrial Ecosystems.* Univ. of California Press Berkeley, p 118-167.
- Tien, M., & Kirk, T.K. (1983)** «Lignin-degrading enzyme from Hymenomycete *Phanerochaete chrysosporium*» *Burds. Science* **221**: 661-663.
- Toutain, F. (1993)** «Biodégradation et humification des résidus végétaux dans le sol: évolution des bois raméaux (étude préliminaire)». in *Les Actes du Quatrième Colloque International sur les Bois Raméaux Fragmentés*, p. 103-109. G. Lemieux et J.P. Tétreault éditeurs, Université Laval, Québec, Canada. © ISBN 2-550-28792-4 FQ94-3014.
- Vicuna, R (1988)** «Bacterial degradation of lignin». *Enzyme Microb. Technol.* **10** : 646-655.
- Visser, S.A. (1986)** «Rôle de l'humus dans un sol» in *Comptes rendus du colloque AMENDEMENTS DES SOLS, PERSPECTIVES D'AVENIR.* Ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts) p. 11-33, Québec.
-

mai 1994
édité par

Le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Faculté de Foresterie et de Géomatique

Université Laval
Québec G1K 7P4
QUÉBEC

Canada
publication n° 46

courriel:

gilles.lemieux@sbf.ulaval.ca
<http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>

FAX 418-656-3177

tel. 418-656-2131 poste 2837

ISBN 2-921728-11-7