

UNIVERSITÉ LAVAL

FACULTÉ DE FORESTERIE ET DE GÉOMATIQUE

Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

CONFÉRENCE

à l'occasion du 100^e anniversaire de

L'UNIVERSITÉ AGRICOLE DE KIEV

Ukraine

28 september 1998

Une commandite du

**CENTRE DE RECHERCHE EN DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL
CRDI**

Ottawa, Canada

«UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE POUR DES FINS AGRICOLES: LA PÉDOGÉNÈSE PAR LE BOIS RAMÉAL»

par le

Professeur Gilles Lemieux

Département des Sciences du Bois et de la forêt
Université Laval

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

Publication n° 97

(version française)

version française

UniversitéLaval

Département des Sciences du Bois et de la Forêt

Québec G1K 7P4

QUÉBEC Canada

UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE POUR DES FINS AGRICOLES: LA PÉDOGÈNESE PAR LE BOIS RAMÉAL

par le
Professeur Gilles Lemieux
Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Université Laval
QUÉBEC
Canada

Résumé

Les nouvelles connaissances générées au cours de la dernière moitié de ce siècle nous permettent de proposer une approche forestière à la gestion des sols agricoles en identifiant les mécanismes biochimiques et biologiques impliqués. Ceci nous oblige à considérer la base historique de l'évolution des arbres et des écosystèmes forestiers depuis 300 000 000 d'années. Nous arrivons à la conclusion que la pédogénèse s'est développée biologiquement par des mécanismes biochimiques sous le couvert de la forêt avec des différences fondamentales entre conifères et feuillus. Le rôle des Basidiomycètes avec celui des polyphénols est fondamental, nous obligeant à contester le terme de «matière organique» dans son acception actuelle. Le comportement des sols tropicaux nous ramène aux effets de l'énergie radiante plutôt qu'au manque de nutriments. **Les sols agricoles et surtout forestiers sont caractérisés par la présence d'une matrice polyphénolique.**

1 • Au fil des ans et des siècles, nous comprenons un peu mieux le monde que nous habitons. Notre existence même repose sur les lois et les mécanismes de la biologie, construite pierre par pierre au cours de centaines de millions d'années. A l'échelle du millénaire, notre rythme d'acquisition de nouvelles connaissances est si lent qu'il réussit à peine à stimuler notre appétit pour comprendre le monde dans lequel nous vivons.

Une approche fondamentalement forestière

2 • L'importance spatiale et historique de la forêt dans notre monde pose derechef la question de son origine, sa constitution et des mécanismes qui en régissent l'évolution et la structure. Ces mécanismes sont d'une importance et d'un dynamisme tel, que laissée à elle-même, la nature reconstitue des équilibres nouveaux dont la forêt est l'aboutissement le plus stable. Les premières forêts furent de Gymnospermes. Depuis 60 000 000 d'années, les règles du jeu ont changé avec l'arrivée des Dicotylédones dont les arbres deviennent dominants dans les forêts tropicales et tempérées.

La biologie du sol cette inconnue

3 • Une revue de la littérature scientifique sur l'origine des sols agricoles nous montre que la très grande majorité des sols sont d'origine forestière. Ceux de la forêt feuillue de Dicotylédones donnent, et de loin, les plus hauts rendements. Il doit donc y avoir de bonnes raisons pour soutenir une réalité qui couvre des siècles. Jusqu'à tout récemment, toutes les découvertes et les raisonnements conduisaient à des interprétations physiques (climat, géologie) ou chimiques des nutriments dérivant de ces prémices.. La biologie du sol n'était presque jamais prise en compte.

Une voie tracée par des perceptions chimiques

4 • Cependant les deux principaux nutriments, l'azote et le phosphore, ont une disponibilité directement tributaire de la biologie pour la croissance des plantes. L'azote exige des organismes biotrophiques capables de la fixer pour la synthèse des protéines alors que le phosphore nécessite l'intervention d'enzymes pour l'extraire de ses puissants liens chimiques avec le fer et le calcium. Pour ces raisons évidentes, la biologie est la plaque tournante de toute la fertilité en agriculture comme en foresterie.

La technologie des BRF issue d'un déchet industriel

5 • C'est au milieu des années 70, qu'Edgar Guay, sous-ministre au Ministère des Terres et Forêts de l'époque à Québec, Canada, imagina d'évaluer le potentiel biologique des résidus de rameaux de conifères, nommés drêches après extraction des huiles essentielles par entraînement à la vapeur sous la forme de «compost de surface» dans la culture de la pomme de terre: les résultats furent au delà de ses espérances.

6 • Une analyse biochimique de ces drêches a montré un contenu en protéines, sucres, celluloses, hemicelluloses, lignines et composés polyphénoliques sans égal.

7 • Pourquoi un tel matériau n'a-t-il jamais été perçu comme une richesse en agriculture? Aucune réponse, nous vint ni des scientifiques ni de la littérature scientifique de ce siècle. Nous n'avons relevé aucune analyse biochimique exhaustive, mais une avalanche de petites analyses courantes sur les principaux éléments chimiques. Nous n'avons trouvé aucune étude de caractérisation de production ou de disponibilité au monde.

Une première description des BRF

8 • Ce "nouveau" matériau fut décrit en 1986 (**Lemieux, G. & Lapointe R.A. [1986]**) sous le vocable de Bois Raméal Fragmenté (BRF). Seuls les rameaux

ayant moins de 7 cm de diamètre ont été pris en compte. Depuis la nuit des temps, ils sont brûlés ou laissés à pourrir sur le sol.

9 • Pour pouvoir l'utiliser, ce matériau doit être fragmenté ou broyé. puis mélangé aux premiers centimètres du sol pour initier le processus pédogénétique

Les BRF de feuillus préférables à ceux des conifères

10 • Après avoir testé de nombreuses essences pour leur potentiel pédogénétique, on a constaté que les feuillus étaient bien supérieurs aux conifères. Les feuillus climatiques dominants se montrèrent supérieurs aux essences de transition. Ces observations nous orientèrent vers les implications écologiques, historiques, géologiques, évolutives. biochimiques etc.

La pédogénèse d'abord d'origine forestière

11 • Ceci nous amène à mettre l'emphase sur l'évolution d'un aspect laissé pour compte: **la pédogénèse** dans toute l'acception du terme. Les perceptions relevant de la chimie et de la physique ont toujours été privilégiées, permettant de contourner, par la technique, les problèmes phytosanitaires et de productivité en croissance constante.

12 • Dans le but de présenter nos vues sur la question, nous avons publié deux études (**Lemieux, G. [1996]**) et (**Lemieux G. [1997]**). La forêt est toujours aménagée selon des critères de productivité agricole alors que nous cherchons à introduire des critères de productivité durable sur des bases biologiques forestières en agriculture.

Les bases de la technologie des BRF

Une aggradation dès la deuxième année

13 • Notre intérêt scientifique sur la question pédogénétique remonte à plus de 25 années avec les premiers essais sur la pomme de terre, le blé, l'avoine et les fraises. Nous avons noté, à court terme, moins d'efficacité chez les BRF de conifères sans égard à leur contenu en nutriments, par rapport aux BRF de feuillus. Les effets étaient beaucoup plus importants la deuxième année et ce jusqu'à la cinquième.

L'agriculture s'est développée sur des sols de la forêt feuillue

14 • Il devint évident que la technologie des BRF avait une influence sur la structure du sol et des chaînes trophiques responsables de la mise en disponibilité des nutriments. Il nous fallait donc chercher des raisons et mécanismes autres

que ceux reconnus traditionnellement pour expliquer cette différence entre les BRF de feuillus et conifères. Ceci devint une question majeure. Sous les forêts de conifères, les sols sont totalement différents de ceux des forêts feuillues. Comment expliquer la chose de manière compréhensible en termes socio-économiques? Pourquoi la grande agriculture s'est-elle développée principalement sur des sols dérivés de la grande forêt feuillue?

Les lignines gäiacyl et syringyl

15 • Nous devons admettre que les contenus en lignines sont en proportion différente chez les conifères et chez les feuillus. Ainsi, chez les conifères, la lignine gäiacyle est dominante et les aromatiques ne possèdent qu'un seul groupement méthoxyl (OCH_3) alors que chez les feuillus, c'est la lignine syringyle avec deux groupements méthoxyl qui domine. Ceci a un impact important sur le contenu en carbone de la fraction humique.

La dépolymérisation de la lignine par des enzymes

16 • Leisola et Garcia [1989] apportèrent des preuves du rôle de certaines enzymes responsables de la dépolymérisation de la lignine. De 1983 à 1989 plusieurs articles apportèrent un éclairage nouveau dans un effort de procéder au blanchiment du papier par des voies enzymatiques plutôt que chimiques conduisant à l'accumulation de mercure dans les sédiments.

17 • En ce qui regarde la dépolymérisation de la lignine, l'enzyme principale est la lignoperoxydase dépendante du manganèse, responsable de la production de deux molécules différentes: l'acide fulvique, à faible poids moléculaire, et l'acide humique à poids moléculaire élevé. Cette enzyme est produite par un champignon Basidiomycète à l'extrémité de son mycélium. La molécule d'acide humique est adsorbée sur le mycélium alors que celle de l'acide fulvique est relâchée dans la solution du sol et détruite par la flore bactérienne.

L'acide humique, les PEC et les agrégats stables à l'eau

18 • Les molécules d'acide humique, ainsi adsorbées sur le mycélium, ne peuvent se repolymériser avec les fractions fulviques libres, issues de la dépolymérisation de la lignine. C'est vraisemblablement l'une des raisons de la baisse des valeurs du pH, causant une précipitation du fer et du manganèse et qui ont une grande affinité pour les polyphénols. Par ailleurs, les grosses molécules adsorbées se joignent aux polysaccharides extracellulaires (PEC) produits par la flore fongique qui, en association avec la fraction minérale, forme les agrégats stables à l'eau, la base des sols brunisoliques.

Les agrégats et la biologie du sol

19 • Toutefois, ces agrégats ne sont pas permanents et deviennent une fraction de la chaîne trophique, particulièrement pour la microfaune. Ces agrégats stables à l'eau représentent également un refuge pour un grand nombre de micro-organismes comme les virus, bactéries, spores de champignons, etc. contribuant ainsi à la stabilité biologique du sol. D'autre part, ces agrégats stables à l'eau ont un impact majeur sur la qualité, la structure du sol et sa résistance à la compaction.

Les polyphénols: un élément de contrôle important de la pédogénèse

20 • De prime abord, la chose peut sembler simple, mais en réalité elle est d'une grande complexité. Les polyphénols sont ce qui caractérise un sol par rapport à une roche pulvérulente: **le sol est d'abord une matrice polyphénolique dans laquelle s'inscrivent la fraction minérale, la microflore et la microfaune responsables de la nutrition minérale des plantes et du contrôle de la vie du sol.**

21 • Cependant, dans le cas de sols sableux, ce sont les polyphénols et les polysaccharides (PEC) qui sont responsables de la formation des agrégats où les fractions grossières sont intégrées mécaniquement, sans effet sur la fertilité, mais plutôt sur la structure. Il est évident que les fungus Basidiomycètes sont d'une importance primordiale dans les mécanismes pédogénétiques.

Les Basidiomycètes, leurs enzymes et la structure du sol.

22 • Les Basidiomycètes sont de bons champignons mycorhiziens, mais le genre *Glomus* semble encore meilleur. Pour être efficaces, les mycorhizes doivent être phytotrophiques. Une bonne «matière organique» dans le sol peut également favoriser la stabilité et les interactions, champignon mycorhizien/plante. D'après **Tisdall et Oades [1982]** avec la production de PEC (polysaccharides extracellulaires), le mycélium des Basidiomycètes produit un grand nombre d'enzymes tout en agissant comme un pipeline pouvant transporter, à l'abri de la solution du sol, plusieurs nutriments, le phosphore étant l'un des plus précieux, l'eau, etc.

Les Basidiomycètes : la base biologique de la fertilité des sols.

23 • Avec les caractéristiques que nous venons d'énumérer, le mycélium des Basidiomycètes est la base même de la stimulation de la croissance de la microfaune, par sa sapidité, une niche pour les nutriments. Les Basidiomycètes deviennent ainsi une nourriture, un ciment formant les agrégats, donc une influence majeure sur la structure physique du sol de même qu'un producteur

d'enzymes. Pour ce faire, tout organisme hétérotrophe vivant nécessite une source d'énergie. La première est la nourriture (sucres, celluloses, protéines, etc.) ensuite la chaleur, la lumière, les sources d'énergie radiante. Nous soupçonnons qu'une trop grande quantité d'énergie radiante est responsable de la dégradation des sols en dehors de la forêt.

Une contestation du terme «matière organique»

24 • Nous sommes d'avis que ce terme connu et utilisé universellement ne fait que générer une confusion sans limite dans la compréhension des mécanismes pédogénétiques. En fait, la technologie des BRF nous éclaire sur la compréhension des mécanismes pédogénétiques pour le contrôle des nutriments et la structure du sol. Le modèle forestier reste absolu en ce qui regarde la pédogénèse évoluant selon les règles de la nature elle-même depuis les temps préhistoriques.

Une explication historique de la pédogénèse

25 • Comme nous le savons, les caractéristiques des sols de la forêt coniférienne sont différentes de celles de la forêt feuillue Dicotylédone. Chez les conifères le bois contient beaucoup plus de lignine gaiacycle, des terpènes et des polyphénols qui jouent vraisemblablement un rôle central. Les mécanismes pédogénétiques ont un rôle différent. Ils se manifestent dans les mécanismes de podsolisation dans des conditions mésiques ou en mécanismes d'entourbement en conditions humides.

La compétition: une élimination ou une acceptation.

26 • Les sols de la forêt feuillue Dicotylédone, se comportent différemment de ceux de la forêt coniférienne au regard de la pédogénèse. Du point de vue évolutif, les feuillus sont plus jeunes avec 60 000 000 d'années. Les conifères ont plus de 300 000 000 d'années (**Godron & Lemieux [1998]**). Plutôt que de concurrencer par des moyens chimiques comme le font les conifères, les feuillus acceptent la concurrence et la diversification des sources d'énergies dans le sol et l'utilise à son tour pour une grande biodiversité du monde des plantes ou des animaux.

Un problème de disponibilité et de qualité de l'énergie

27 • La plus grande partie de la biodiversité et de l'énergie disponible se trouve dans le sol même, alimentée par le métabolisme des arbres. D'après **Gosz, Holmes, Likens et Bormann [1978]**, la coupe à blanc d'une forêt feuillue du New Hampshire (USA) a causé une perte d'énergie du sol allant de 15 000 Cal/m² à 3000 Cal/m² sur une période de deux années. Cette baisse rapide du contenu

énergétique du sol se manifeste à moins d'un apport constant de la canopée de la forêt.

28 • Les sols bruns, riches et profonds, contenant à titre d'exemple de la montmorillonite, donnent les meilleurs rendements aussi bien en agriculture qu'en foresterie. **Il faut se souvenir que la productivité repose sur la biologie du sol, la disponibilité des nutriments et de l'énergie.** Ce système ne fonctionne que s'il est alimenté en permanence en énergie à partir des plantes de l'écosystème épigé. Cette énergie doit se présenter sous la forme de nourriture pour la biomasse microbienne tout comme de l'énergie radiante régulée par les fluctuations saisonnières.

Une contribution de la biologie au contrôle des nutriments et de l'énergie.

29 • L'utilisation des BRF comme matériau pédogénétique influence la dynamique des mécanismes régulant les besoins énergétiques nécessaires à la diversité microbologique de même que son activité: c'est un remplaçant partiel mais important pour la survie et l'activité des microorganismes phytotrophes. Ceci réduit les blocages d'importants nutriments nécessaires à une bonne production végétale.

Le projet Boyarskaya (Ukraine) et ses implications universelles.

30 • Le projet de recherche de la forêt de Boyarskaya, dans la banlieue de Kiev a consisté à tester le seigle sur un sol sableux et pauvre. Les résultats obtenus après 2 années sont très intéressants et montrent un grand potentiel pour la technologie des BRF. Comme le démontrent les essais, les BRF de chêne (*Quercus robur*) ont donné les meilleurs résultats tout comme le chêne rouge (*Quercus rubra*) au Canada. D'autres essences comme le bouleau et le tremble se sont montrés moins efficaces mais apportent quand même une excellente contribution à la pédogénèse. Les effets apportés par les BRF se montrent encore meilleurs lorsqu'on ajoute de la litière forestière à raison de quelques grammes au mètre carré et mélangés au sol des parcelles expérimentales.

La matrice polyphénolique du sol

31 • Deux points importants méritent d'être soulevés: ce sont la qualité des branches utilisés ainsi que le moment de la récolte et de la fragmentation. Dans l'expérience de Boyarskaya, portant sur la culture du seigle, la présence de feuilles sur les rameaux fragmentés a considérablement réduit la croissance des plantes. Ceci nous a conforté dans l'obligation que nous sommes de récolter et de fragmenter en période hivernale. Nous devons accumuler d'autres connaissances sur le rôle des polyphénols des feuillus, leur interférence sur les univers microbiens et enzymatiques du sol. **Ceci devrait contribuer à la compréhension d'une des**

bases les plus importantes de la technologie des BRF, la matrice polyphénolique du sol et sa dynamique.

La forêt tropicale et les cycles de l'eau

32 • Nous devons souligner l'apport de la technologie des BRF afin de mieux comprendre l'évolution de l'agriculture tropicale, la fertilité des sols reposant uniquement sur la forêt. Les cycles journaliers de l'eau dépendent avant tout du microclimat forestier. La disponibilité de l'eau dans le sol est en relation directe avec la biologie où les champignons jouent un rôle prédominant dans l'alimentation de la microfaune qui, à son tour, régule la disponibilité des nutriments par les fèces et la décomposition des corps microbiens.

Les arbres accumulent les nutriments dans leur ramure

33 • Les travaux de recherche de ces dernières années dans la canopée de la forêt tropicale montrent que la plus grande richesse est dans la cime, donc dans la ramure des arbres alors que le sol est relativement pauvre avec une argile de piètre qualité: la kaolinite.

Une raison probable à la désertification africaine

34 • Durant les grandes sécheresses en Afrique, les flux d'énergie et de nutriments sont presque réduits à néant. Ceci pourrait être une raison majeure à la déforestation, les arbres étant devenus les plus importants compétiteurs des récoltes, donc des hommes.

35 • La leçon que je tire de la relative faible productivité des sols africains réside dans le fait que la fertilité des sols ne peut être renouvelée que biologiquement ou par des catastrophes climatiques ou telluriques. Dans les forêts régulées par des phénomènes climatiques sous les climats tempérés, les ressources nécessaires sont amenées à chaque niveau de vie, contribuant ainsi à la productivité et à la stabilité.

Un transfert de fertilité de la forêt à l'agriculture

36 • En conclusion, je dirais que la technologie des BRF est essentiellement une manière efficace de transférer les principales caractéristiques de la forêt vers les sols agricoles avec un impact soutenu sur la stabilité, la mise en disponibilité des nutriments par des moyens biologiques. Ceci est particulièrement important pour l'azote et le phosphore, tout comme ce qui a trait aux effets positifs sur les insectes des sols traités aux BRF.

37 • En introduisant en agriculture les caractéristiques des sols forestiers, il faudra revoir les caractéristiques génétiques d'un grand nombre de plantes pour tirer tout le profit possible d'un sol de meilleure qualité. Nous avons pris comme une certitude scientifique la dégradation des sols vers une piètre fertilité. Un renversement de situation vers des sols de haute qualité devrait être un souci socio-économique pour chacun de nous.

Comment influencer le savoir universitaire

38 • C'est à l'université que doivent percoler ces nouvelles valeurs scientifiques dans le but de promouvoir des actions vers l'harmonie plutôt que vers la guerre, où nous mettons tant d'efforts à combattre tous les «ennemis biologiques». Faisons plutôt la promotion de la conciliation entre l'Homme et son environnement dans un monde plus harmonieux et convivial que jamais.

BIBLIOGRAPHIE

- Godron, M. & Lemieux, G. (1998)** «Le bois des rameaux, un élément crucial de la biosphère» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, Québec Canada , publication n° 88 32 pages ISBN 2-921728-35-4
- Gosz, J.R., Holmes, R.T., Likens, G.E. & Bormann, F.H. (1978)** «Le flux d'énergie dans un écosystème forestier» in *"Pour la Science"* juin 1987 p. 101-109.
- Gosz, J.R. & Fischer, F.M. (1984)** «Influence of clear-cutting on selected microbial processes in forest soils.» in *Current Microbial Ecology. Perspectives Proceedings of the third International Symposium on Microbial Ecology (Klug, M.J. & Reddy eds.)*
- Leisola, M. S. & Garcia, S. (1989)** «The mechanisms of lignin degradation» in *Enzyme systems for lignocellulose degradation. Workshop held in Galway, Ireland, publishes by Elsevier Applied Science, p. 89-99, The Netherlands.*
- Leisola, M.S. & Waldner, R. (1988)** «Production , characterization and mechanisms of lignin peroxidases» In Zadrazil, & F. Reiniger, P. ed. "Treatment of lignocellulosic with white rot fungi. Elsevier Appl. Sci. Pub. New York p. 37-42
- Lemieux, G. (1996)** «Cet univers caché qui nous nourrit: le sol vivant» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, Québec, Canada 51 pages, publication n° 59, ISBN:2-921728-15-X
- Lemieux, G. (1996)** «The Hidden World that feeds us: the living soil» Coordination Group on Ramial Wood, Laval University, Canada, publication n° 59, 46 pages, ISBN 2-921728-17-6
- Lemieux, G. (1997)** «Les fondements pedogénétiques des écosystèmes forestiers; une approche de la métastabilité tellurienne» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, Québec, Canada publication n° 71, 73 pages, ISBN: 2-921728-25-7
- Lemieux, G. (1997)** «Fundamentals of Forest Ecosystem Pedogenetics: An approach to Metastability Through Tellurian Biology» Coordination Group on Ramial Wood, Laval University, Québec, Canada publication n° 72, 59 pages, ISBN 2-921728-24-9

- Lemieux, G, (1997)** «Fundamentos de pedogénesis en el Ecosistema Forestal: Una Aproximación a la Metastabilidad A través de la Biología Telúrica» Grupo de Coordinación sobre Madera Rameal, Universidad Laval Ciudad Québec, Canada, publicación n° 88 , 44 pages ISBN: 2-921728-36-2
- Lemieux, G. & Lapointe R.A. ((1986)** «Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol» Université Laval, Québec, Canada 17 pages ISBN 2-550-2138-1
- Rayner, A.D. & Boddy, , L. (1988)** «Fungal Decomposition of Wood» John Wiley and Sons, 597 pages.
- Tisdall, & Oades, J.M. (1982)** «Organic matter and water stable aggregates in soil» J. Soil. Sci. **32** 141-163.

oo

ISBN 2-921728-43-5
Dépôt légal: Bibliothèque Nationale du Québec

septembre 1998
Édité par Le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux
Département des Sciences du Boisa et de la Forêt
UNIVERSITÉ LAVAL
Québec G1K 7P4
QUÉBEC
Canada
courriel: gilles.lemieux@sbf.ulaval.ca
FAX 1 (418) 656-5262
tel 1(418)656-2131 poste 2837
publication n° 97
version française
ISBN 2-921728-43-5