

# UNIVERSITÉ LAVAL

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

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

## **«L'importance du bois raméal dans la "synthèse" de l'humus»**

par le  
Professeur Gilles Lemieux

novembre 1988  
(deuxième édition 1992)

Publication n° 11

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

mars 1988

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 G1 K 7P4

QUÉBEC

Canada

publication n° 11

(deuxième édition 1992)

courriel:

[gilles.lemieux@sbf.ulaval.ca](mailto:gilles.lemieux@sbf.ulaval.ca)

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

FAX 418-656-3177

tel. 418-656-2131 poste 2837

ISBN 2-550-21341-6

# UNIVERSITÉ LAVAL

Faculté de Foresterie et de Géodésie

**GROUPE DE COORDINATION SUR LES BOIS RAMÉAUX.**

**L'IMPORTANCE DU BOIS RAMÉAL**  
**DANS LA "SYNTHÈSE" DE L'HUMUS**

par

**Gilles Lemieux**

Professeur au Département des Sciences Forestières

avec la collaboration  
de

**Lionel Lachance** Agronome

Chargé de cours à la  
Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation  
Université Laval

et de

**Alban R. Lapointe** Ing. f.

Service des Traitements sylvicoles  
Ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts).

février 1988

**Québec Canada**

## **L'IMPORTANCE DU BOIS RAMÉAL DANS LA "SYNTHÈSE" DE L'HUMUS**

### **RÉSUMÉ**

Le présent article a pour but de faire le point sur les travaux effectués à ce jour sur l'utilisation du bois raméal fragmenté appliqué au sol. Les observations faites tant sur les sols agricoles que forestiers sont examinées à la lumière des connaissances acquises sur les fractions humiques ainsi que de la genèse de l'humus par la microfaune du sol. La structure chimique et physique des macromolécules d'humus et ses effets sur la végétation sont en tout point semblables aux effets observés sur les sols agricoles ainsi que sur les récoltes après application de bois raméal fragmenté à raison de 150 à 200m<sup>3</sup>/ha. Du côté forestier les effets sont plus complexes mais également en parallèle avec les observations agricoles sur plusieurs points. Plusieurs hypothèses de contrôle trophique et écologique peuvent être élaborées.

### **LA FORET ET L'AGRICULTURE**

Les deux valeurs les plus profondes dans la culture de tous les peuples sont l'agriculture suivie de la forêt. C'est de là que viennent tous les conflits et les guerres; mais également tous les équilibres et toutes les joies de vivre. Aujourd'hui, ces deux valeurs fondamentales sont absentes de notre quotidien. Ce lien avec la terre est, à toute fin pratique, ignoré depuis l'invasion par la technologie. Ainsi, la productivité et l'accessibilité universelle, rendent immédiatement disponibles tous les biens essentiels et ce dans toutes les circonstances, même les plus adverses.

### **AUTOCONCURRENCE ET DÉGRADATION**

Le lien séculaire entre l'Homme et la forêt, est rompu, car l'un ne dépend plus de l'autre. Tous les aspects de la relation homme-forêt sont soumis à la concurrence. Le divorce est total. Pourtant il faut même souligner un paradoxe immense. Plus il y a de substituts aux produits de la forêt, plus elle est surexploitée et toujours de plus en plus dégradée. Il nous semble que les profits de la forêt sont investis dans la subvention aux produits concurrents....? Nous vendons la quille au profit des voiles et des mâts du voilier.

Il nous faudra bientôt, pour des raisons économiques, revoir tous nos "a priori" sur les questions de fond. Il nous faudra réconcilier l'agriculture

avec la forêt, les deux en retirant un bénéfice mutuel. Cette réconciliation devra passer par la recherche scientifique, en grande partie responsable de ce divorce causé par les nouvelles utilisations et les transformations qu'elle a proposées.

## **LE BOIS RAMÉAL ET LES NUTRIMENTS: UNE COMPARAISON NORD-SUD.**

Nous verrons que, les nouvelles technologies introduisent très souvent des perturbations majeures dans des systèmes biologiques en équilibre, mais qu'elles peuvent également contribuer à susciter de meilleurs équilibres, ou à en consolider certains, instables par leur nature. Nous faisons allusion à la fragmentation par des moyens mécaniques de certaines parties de la flore ligneuse. Traditionnellement, dans toutes les régions du monde où la forêt domine, c'est par le feu que naît l'agriculture. Au Québec la mise en culture s'est faite par le brûlage des branches et des souches après exportation des grumes hors du site forestier converti à l'agriculture. Sous les conditions tropicales, il en va de même, mais pour de courtes périodes, le brûlage ayant comme but premier de mettre à la disposition des cultures vivrières les nutriments enfermés dans les tissus de la flore ligneuse. A l'inverse des pays tempérés, les parties les plus riches en nutriments que sont les rameaux et les feuilles, font l'objet d'une exportation massive par le biais du bois de chauffe alors que les troncs souvent trop importants pour être manipulés sont laissés debout. Ce n'est que la demande d'exportation qui amènera l'exploitation des fortes tiges avec des moyens mécaniques importants.

Depuis quelques années, nous nous intéressons à cette partie déconsidérée, lors de l'exploitation forestière, que sont les branches des arbres exploités. Dès le début, il nous a semblé, que ces "résidus" d'exploitation étaient de loin la production végétale la plus sous-évaluée et vraiment considérée comme un "déchet" et une nuisance. En vain, nous avons cherché dans la littérature scientifique des 50 dernières années, une définition du bois des rameaux par opposition à celui du tronc des arbres. C'est en **1964** que **Koslowski & Winget** publièrent leur travail sur la localisation des réserves

nutritives dans les différentes parties du pin rouge (*Pinus resinosa*), ouvrant ainsi la voie à l'appellation de "bois raméal" par opposition au "bois caulinaire". (Lemieux, 1986). Trois rapports techniques publiés en 1981 et 1982 par **Guay, Lachance et Lapointe** attirèrent vivement notre attention, indiquant que les rameaux provenant de différentes essences, fragmentés en particules de quelques centimètres, incorporés aux cinq premiers centimètres du sol, se minéralisaient en 70 jours, donnant une structure au sol, tout en provoquant une forte ' mélanisation. Cette humification "in situ" donnera naissance à une technique que nous appellerons plus tard, la méthode **SYLVAGRAIRE**. Les premiers essais, faits dès 1978, devaient avoir une grande influence sur les récoltes et leur qualité au cours des années subséquentes, en particulier sur des récoltes de fraises, de pommes de terre (**Tremblay, 1985**) et d'avoine.

## LE BOIS RAMÉAL FRAGMENTÉ ET LE SOL.

C'est ainsi que l'utilisation des résidus de branches souleva la question édaphique, tant du côté agricole que forestier. Plusieurs hypothèses furent émises. Seules quelques-unes ont trouvé des éléments de réponse. Au point de vue agricole, le fait de déposer les **BRF** en surface du sol (**Bois Raméal Fragmenté**) et de les incorporer légèrement était déjà une opération inusitée. Nous avons effectué les mesures de trois paramètres qui pouvaient être reliés à l'augmentation des rendements en quantité et en qualité. Ainsi le taux de matière organique du sol a plus que doublé en 12 mois, le pH avait monté d'une unité et le C/N était passé de 35/1 à moins de 25/1 dans la même période. En même temps, nous observions une véritable structuration et une mélanisation du sol. L'expérimentation qui a suivi en milieu forestier et se poursuit encore, n'en est pas moins importante, ni spectaculaire, en fonction du temps. Nous discuterons de cet aspect plus loin puisque nous soulignons ici des questions qui nous semblent toucher de près tout le dynamisme écologique du milieu, depuis les équilibres biologiques du sol, à ceux de la végétation et de la faune, par extension.

## FAUT-IL ENCORE CONFONDRE MATIERE ORGANIQUE ET HUMUS?

De tels écarts de rendement qui, dans le cas d'un cultivar de fraisier, ont pu atteindre 300% avec des qualités gustatives améliorées, nous laisse quelque peu perplexe en regard de la voie que nous observons en agriculture en particulier depuis plus d'un demi-siècle. Nous prenons pour acquis que l'amélioration de la productivité et de la qualité passent uniquement par l'amélioration génétique des cultivars et la fumure des sols, l'apport d'azote en particulier avec un accent depuis peu sur les biotechnologies. Dans plusieurs cultures spécialisées, nous avons éliminé le sol par l'hydroponique. Ceci nous amène à croire que le rôle de la matière organique et tout particulièrement celui de l'humus et des fractions humiques est méconnu chez un trop grand nombre.

### LES PERFIDIES DE L'EXPÉRIMENTATION!

Dans son travail de synthèse sur les matières humiques, **Visser (1986)** montre que ce sont les travaux de **Bottomley (1914,1917,1920)** et ceux de **Mockridge (1920)** qui, les premiers ont démontré le rôle des substances humiques sur le développement de la lentille d'eau (*Lemna minor*). Toutefois, les travaux de **Clark** et de **Clark & Roller (1924)** démontrèrent qu'on pouvait obtenir à travers 30 générations de lentilles d'eau les mêmes résultats que ceux obtenus par **Bottomley** et par **Mockridge**, à l'aide de solutions strictement minérales sans la présence de substances organiques. Il semble que ces travaux des années 20 aient eu une influence néfaste sur le développement ultérieur de la recherche sur les substances humiques qui a des répercussions jusqu'à nous.

### STRUCTURE ET COMPOSITION DE L'HUMUS.

Il est maintenant évident, comme le démontre **Visser (1986)**, que l'humus est une matière extrêmement complexe; Ainsi son poids

moléculaire varie de 1 000 à 300 000 daltons, et sa structure est surtout riche en noyaux aromatiques dérivés de la lignine en particulier, et entourés de groupes fonctionnels (phényl, méthoxyle, hydroxyle,...). L'humus a des propriétés colloïdales, ce qui lui confère, à la fois, un pouvoir tampon et une capacité d'échange. En outre, ces propriétés permettent des interactions avec d'autres macromolécules comme les polysaccharides ou les protéines voire les macromolécules de synthèse comme les biocides. À cause de la structure que nous venons d'esquisser, l'humus possède des propriétés tensioactives permettant l'agrégation ou la dispersion de particules organiques ou minérales. Elle peut également complexifier les ions métalliques présents à la surface des particules minérales du sol.

## **L'HUMUS ET LA RÉGIE DES NUTRIMENTS**

Ces particularités de l'humus lui confèrent donc un rôle de régulateur extrêmement puissant de tout ce milieu qu'est le sol. Du côté physique, notons l'influence de base sur l'aération, le drainage et la structure du sol. D'autre part, l'humus est capable d'influer grandement sur tout le processus biochimique du sol et en bonne partie sur tout le processus biologique. Pour notre part, nous pensons que c'est au niveau du processus biologique que l'influence des BRF est primordiale en agissant à la fois sur la formation de l'humus et sur ses divers rôles dans le stockage et la mise en circuit des nutriments. De même que le rôle des microorganismes est largement connu dans le processus de dégradation de la matière organique (cellulolyse, protéolyse, pectinolyse, etc....) en aérobiose ou en anaérobiose, il n'en va pas de même pour la synthèse de nouvelles substances et le stockage des nutriments dans le sol. C'est pourtant à ce niveau que se trouvent les mécanismes fondamentaux du cyclage des éléments et, dans une plus large mesure, les lois de la pérennité et de la productivité de tous les écosystèmes terrestres et de la végétation forestière en particulier.

Dans l'ensemble de la littérature consultée, il n'est que très rarement fait allusion à la différence qui existe entre matière organique et humus, qui

est pourtant fondamentale, si ce n'est dans les travaux spécialisés traitant de l'humus même, de sa composition, de sa formation et de ses effets. Ceci laisse donc supposer que relativement peu de travaux ont été faits sur la génération des fractions fulviques et humiques dans le sol par rapport à leurs influences à tous les niveaux biologiques du sol, des racines, des plantes, de la perméabilité des membranes cellulaires, etc..

## LES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET LA GENÈSE DE L'HUMUS.

Nous désirons attirer l'attention sur le rôle que joue l'humus dans la régulation des phénomènes pédologiques, et les perturbations apportées par des substances étrangères, en particulier celles d'origine synthétique. Sur des macromolécules aussi complexes que celles des substances humiques, les variations apportées au milieu peuvent être très diverses depuis le niveau de la structure du sol à celui de la perméabilité des parois cellulaires en passant par la mise en disponibilité de nutriments comme le phosphore, en fonction du pouvoir tampon de l'humus. **Nous posons l'hypothèse que c'est au niveau des substances humiques, de leur genèse et de leurs effets régulateurs sur le milieu, que nous proviennent les perturbations causées par les précipitations acides, tout particulièrement dans le cas du dépérissement de l'érablière.**

### L'expérimentation forestière 1985-87

Sur des parcelles de quelques mètres carrés, nous avons disposé une épaisseur de 5cm de BRF de sapin baumier (*Abies balsamea*) sur la litière d'une érablière touchée par le dépérissement au printemps de 1985. Au printemps 1987, le pH s'est stabilisé à 4,4 par rapport au témoin resté à 4,0, soit une augmentation de 0,4 unité. Sur les 23 autres essences étant restées rigoureusement au même pH que le témoin. Bien que sommaires, ces premières mesures fournissent déjà quelques indications. Ainsi, nous notons que seules les deux essences ayant des

affinités écologiques avec l'érablière ont provoqué une remontée spectaculaire du pH alors que 21 autres, étrangères à l'écosystème n'ont apporté aucun changement. Nous posons l'hypothèse que ce sont les conditions écologiques dont la gestion est assurée par le complexe biologique du milieu, lui-même tributaire de l'état plus ou moins stable du complexe humique, qui ont "autorisé" la modification de ce paramètre physico-chimique de première importance pour l'ensemble de la nutrition minérale qu'est le pH.

## LE BOIS RAMÉAL, UN FACTEUR D'ÉQUILIGRE ÉDAPHIQUE

Bien que nous ayons employé le terme, "**bois raméal**", nous n'avons pas encore proposé une définition technique. Nous disons que le bois raméal est constitué de la partie fine des branches dont le diamètre est inférieur à 7 cm, c'est-à-dire des parties non utilisées pour le bois de chauffe. Les tiges ligneuses de ce diamètre peuvent provenir des grands arbres aussi bien que des arbustes.

## LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE DU BOIS RAMÉAL.

Au point de vue de sa composition, **le bois raméal** a des particularités qu'aucune autre partie de l'arbre ne possède. Il est composé de **cellulose** et de ses dérivés, de **lignine** et de ses dérivés, ainsi que de **protéines** et de leurs dérivés avec un C/N variant de 25/1 à 150/1. Cette composition diffère de celle du "**bois caulinaire**" presque totalement déficient en protéines et dont le C/N varie entre 300/1 à 600/1. La caractéristique du bois raméal est donc la présence dans un même matériau de **cellulose, de lignine et de protéines** auquel est associé un nombre élevé de macromolécules et de nutriments nécessaires à l'élaboration de nouveaux tissus.

## LA DÉFINITION DE L'HUMUS.

Dans son travail, "Rôle de l'humus dans un sol", Visser (1986) donne la définition suivante de la matière humique: **Elle est constituée de polyanions d'origine naturelle à poids moléculaire élevé, de couleur noire ou brun foncé. Elle se forme par polymérisation et condensation à partir de produits de dégradation issus de l'activité microbienne et de la dégradation chimique de la matière organique d'origine végétale ou animale. Elle a un aspect colloïdal dont les caractéristiques physiques autant que chimiques influencent largement ses propriétés.** Comme nous avons vu, ce sont les noyaux aromatiques qui en forment la structure de base, la contribution principale des bois raméaux sera l'apport de lignine. Toutefois, il est reconnu depuis longtemps que l'apport de sciures, provenant de la transformation des bois caulinaires, est également très riche en lignine mais ne produit que très peu d'effets bénéfiques si non franchement délétères. Bien que nous n'ayons pas de preuves formelles, nous pensons que la présence de protéines associées à la cellulose et à la lignine est à la base de l'augmentation de rendements obtenus par Guay, Lachance et Lapointe (1981).

## LES EFFETS EXPÉRIMENTAUX DES FRACTIONS HUMIQUES

**Visser (1986)**, dans sa revue de littérature sur les effets des substances humiques, **Khristeva & Manoilova (1950) et Khristeva (1953)** ont dressé une liste de quatre groupes de plantes en regard à l'action stimulante des acides humiques: le premier groupe comprend les plantes riches en hydrate de carbone comme les pommes de terre, les carottes etc... dont les rendements augmentent de 50%.

- 1) Le deuxième groupe est celui des céréales comme le blé, l'avoine et le maïs, qui réagissent bien.
- 2) Le troisième groupe est celui des plantes riches en protéines comme les haricots, fèves, lentilles, pois, etc... qui ne réagissent que très peu à la

stimulation.

3) Quant au quatrième groupe, il est composé de plantes oléagineuses comme le ricin, le tournesol, le coton et le lin, qui ne réagissent pas ou encore le font négativement par des diminutions de rendements. Les observations et mesures de **Guay, Lapointe et Lachance (1981)** vont dans le même sens que celles de **Khristeva**, mais avec des écarts de rendements beaucoup plus élevés dans le cas des fraises et légèrement supérieurs dans ceux des pommes de terre, alors que **Tremblay (1985)** trouve des relations analogues à celles de **Khristeva**.

### LES STIMULATIONS "HORMONALES".

Pour notre part, (**Lemieux 1985**) nous avons noté dans la même perspective que **Chaminade (1958)** que pour certaines espèces comme *Danthonia spicata*, la croissance et la tallaison étaient fortement stimulées par un paillis de rameaux de *Sambucus pubens* fragmenté, ayant séjourné quatorze mois sur un sol dépourvu de réserves azotées. Nous pensons que c'est l'aptitude des fractions humiques à stimuler la disponibilité de composés azotés, même en très faible concentration qui est responsable de cette action. Il faut également rappeler que, des 140 parcelles expérimentales que nous avons établies dans un milieu forestier très pauvre, nous n'avons noté aucune déficience azotée. A faibles concentrations, les fractions humiques ou fulviques nous donnent l'impression d'agir comme des hormones de croissance, telles la gibbérelline ou les auxines, comme l'ont souligné **Phuong & Tichy (1976)**.

### LA MÉTHODE SYLVAGRAIRE.

Jusqu'ici, nos connaissances proviennent d'une certaine expérimentation scientifique en agriculture et des observations faites sur la transformation des BRF par voie d'humification "in situ". C'est ainsi que **Guay, Lachance et Lapointe (1982)** ont pu mettre au point une technique dite de compostage de surface maintenant connue sous le nom de la méthode **SYLVAGRAIRE**. Elle

consiste dans l'épandage en surface de 150 m<sup>3</sup>/ha sur lesquels on ajoute 40 000 litres à l'hectare de lisier de porc dans le but de rétablir le C/N à 30/1. A l'aide d'une herse de Graham, le tout est mélangé aux 10 premiers centimètres du sol. Dans les essais rapportés par **Guay, Lachance et Lapointe (1982)**, 70 jours après le traitement, le sol de surface était complètement mélanisée, une certaine structuration du sol était perceptible et le pH était à la hausse par rapport au témoin. Deux années plus tard, les rendements en fraises et le taux de matière organique avait doublé.

## **LA SCIENCE ET LES "MIRACLES".**

Malgré la diffusion de ces premiers résultats, il y a encore beaucoup de contestation, plusieurs y voyant un effet "miraculeux" plutôt que scientifique sans toutefois apporter aucune hypothèse ou élément de compréhension du phénomène. Nous discuterons de cet aspect un peu plus loin, sans acrimonie, mais en soulignant les points qui nous semblent essentiels dans la dynamique du phénomène.

## **UNE RÉADAPTATION SOCIALE À DE NOUVELLES VALEURS BIOLOGIQUES**

Jusqu'à nos jours, selon la perception traditionnelle, les rameaux et les broussailles représentent ce qui a le moins de valeur dans toutes les productions végétales. C'est le signe extérieur de la pauvreté et de la désolation. Le fait de n'avoir que des branches et des broussailles pour faire le feu semble être l'ultime signe de pauvreté et de déchéance sociale. Il n'était pas évident avant les travaux de **Guay, Lachance et Lapointe** que ce matériau, toujours considéré comme un déchet, un rebut ou un résidu de l'activité humaine au même titre que les fumiers et excréments humains, soit une source "noble de "fertilité" et probablement la source de toutes les productivités des écosystèmes terrestres. Bien que, sous les conditions tropicales, ce sont ces "rebuts" qui soient avant tout la source de bois de feu, ils n'ont jamais été perçus comme une source possible de fertilité. La fraction protéique liée à la lignine si importante dans la structuration des sols et l'apport de la fécondité est constamment détruite par le feu, soit pour la mise en culture de "nouvelles terres" ou pour le feu domestique

quotidien. Cela devrait faire réfléchir les responsables de la "reforestation" dans tous les pays du Tiers-Monde et qui ignorent les fractions humiques ainsi que l'action des divers niveaux "bio-trophiques" sur la nutrition végétale.

## LES DIVERSES BIOMASSES

Dans une lettre datée de Rome, le Sous-Directeur de la FAO, M. Flores Rodas reconnaît le bien-fondé de l'utilisation des bois raméaux fragmentés pour maintenir la fertilité dans des sites particulièrement sensibles, surtout en milieu tropical. Comme plusieurs, il qualifie de "biomasse" cette fraction végétale que sont les bois raméaux fragmentés, ce qui n'est, en aucun cas, la réalité. Une fois, de plus, il faut souligner avec force que la "biomasse" est un terme générique qui englobe tout ce qui est d'origine biologique sans en préciser les qualités et les propriétés. Pour sa part, le bois raméal, de quelque essence qu'il provienne, a des qualités et une composition biochimique particulières, variables sous plusieurs angles. Tous les échecs d'humification "in situ" que nous avons constatés tiennent du fait que les utilisateurs ne font pas la différence fondamentale entre le bois raméal et le bois caulinaire traitant les deux de "biomasse forestière".

## L'ÉPANDAGE DES FUMIERS, PLUTÔT UNE OPÉRATION SANITAIRE QU'UNE VÉRITABLE FUMURE.

Ceci nous ramène donc à la question de la fécondité du sol. Nous constatons, depuis plus de dix ans bientôt, qu'il est extrêmement difficile d'infléchir une "tradition" dans la perception d'autres valeurs chez ceux dont la profession est justement de faire évoluer les connaissances et les valeurs techniques des producteurs agricoles ou forestiers. **En réalité, nous nous heurtons à l'immense difficulté de faire comprendre un processus, celui de l'humification par les bois raméaux, alors que le même processus par**

**rapport aux fumiers est, à toutes fins pratiques, ignoré.** En fait, nous devons nous "battre" contre un fantôme imposé par la tradition. Dans nos pays, si on en juge par la réaction de la majorité, il semble que l'épandage des fumiers soit plutôt considéré comme une opération sanitaire, non pas comme une opération rentable. Ceci souligne bien de quelle estime jouit la matière organique dans les cultures de productions végétales. Si nous en sommes là, il ne faut tenir rigueur à qui que ce soit. Les découvertes de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, dans le domaine de la physiologie végétale et de la nutrition minérale des plantes, sont à la base de la révolution verte qui a marqué le xx<sup>e</sup> siècle, et qui a profondément marqué notre évolution sociale et démographique. Ce que nous ne savions pas, et que beaucoup semblent ignorer encore, c'est que les succès de la révolution verte étaient pour une large part, dus aux accumulations de réserves humiques des siècles précédents, mais de faible productivité. En d'autres termes, nous réussissons dans la mesure où nous faisons appel à l'"inertie" du système en toute inconscience.

### **LA DIFFICULTÉ D'INTERPRÉTER LES VARIATIONS IMPOSÉES PAR LA BIOLOGIE.**

Dans tout l'arsenal des connaissances nouvelles que nous propose la Science, il y a souvent une déficience fondamentale au niveau de la connaissance des processus pédogénétiques qui est strictement d'ordre biologique. C'est ainsi que nous sommes amenés à considérer toute la pédogénèse sous deux angles rigides et mathématiques que sont la physique et la chimie avec l'hybride physico-chimique. Ces deux aspects mesurables et quantifiables, d'abord d'origine intellectuelle, nous ont amené à mettre de côté les aspects de la dynamique biologique, bien plus difficiles à saisir, mais également bien plus importants à long terme que les paramètres dont il fut question précédemment. Ainsi dans les expériences de Saint-Damien que nous menons depuis 1983 sur de petites parcelles, sans moyens financiers et sans

dispositifs statistiques rigides, nous observons des phénomènes que nous essayons de suivre et de mesurer (**Lemieux 1985**). La première observation faite a été l'absence de déficit azoté apparent la première année, après épandage d'une couche de 5cm de BRF alors que tous prédisaient un fort déficit azoté. La seconde observation touche l'effet de bordure, c'est-à-dire que la croissance des plantes à la périphérie était largement supérieure à celle de l'intérieur des parcelles. La troisième observation touche le nombre de plantes ( fig. no.1) ainsi que la qualité des espèces (fig no.2).

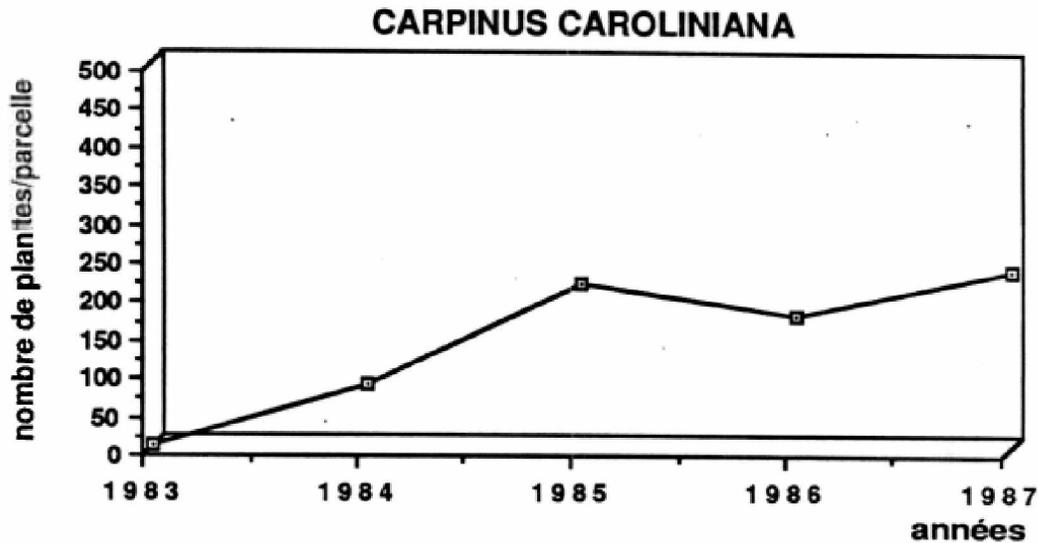


Fig. no.1 Variation du nombre de plantes en fonction du temps

## L'ÉVOLUTION DE LA PARCELLE EXPÉRIMENTALE DU CHARME DE CAROLINE

Comme le montre la figure no 2, nous avons classé les espèces générées par les BRF du charme de Caroline en trois catégories. La première comprend des espèces d'origine extérieure au milieu, dont la majorité sont prairiales, héliophiles et à fortes tendances xérophiles que nous appelons "allochtones". La seconde catégorie est constituée d'espèces nettement tributaires du milieu forestier avec des tendances tourbicoles ou xérophiles et à

tendance acidophile; cette catégorie comprend à la fois des espèces ligneuses ou herbacées. Quant à la troisième catégorie, elle est composée d'espèces ligneuses uniquement, soit des arbrisseaux ou de grands arbres, appartenant à des stades forestiers, soit intermédiaires (*Populus tremuloides*), ou paraclimaciques (*Picea mariana*). Si la croissance du nombre d'individus montre une anomalie, elle est due à une explosion de population de *Rumex acetosella* qui fut réduite de 110 individus en 1985 à 15 en 1987.

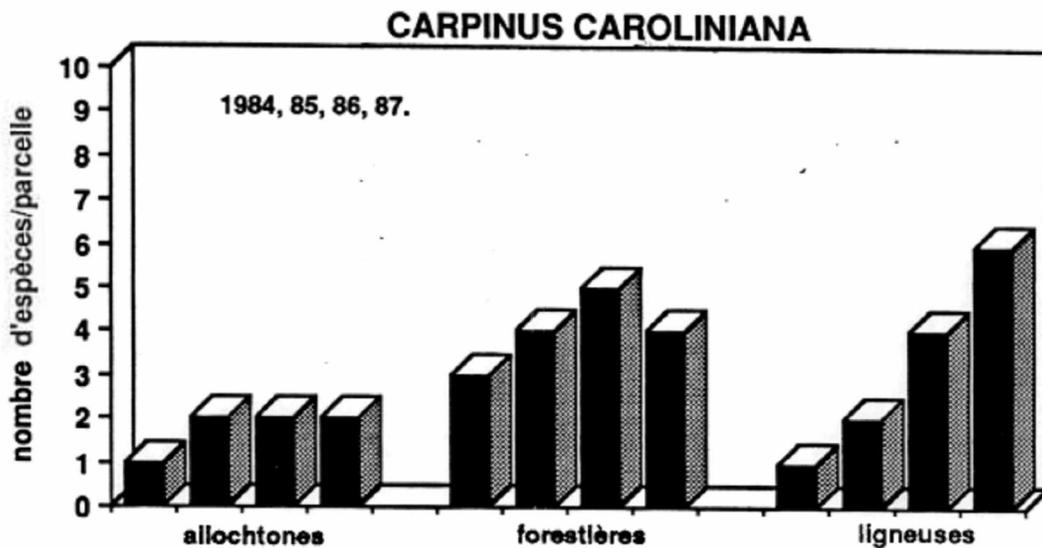
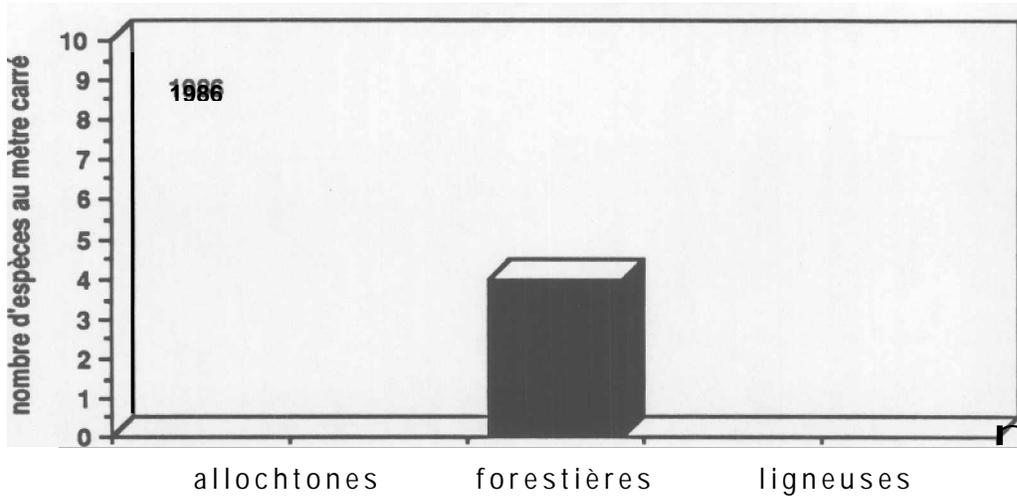


Fig. no.2 Histogramme montrant l'évolution du nombre d'espèces par catégories.

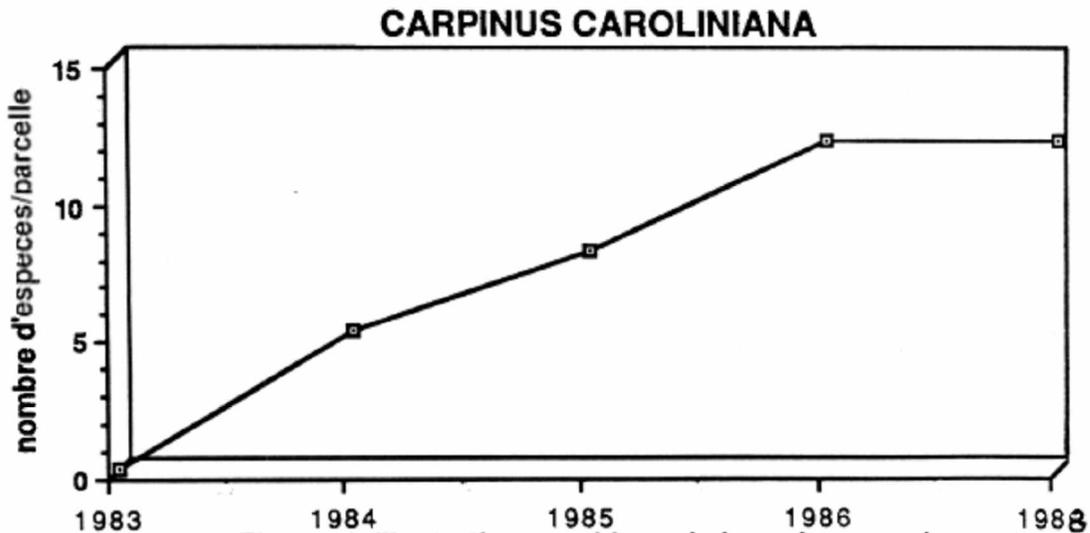
A part cette anomalie, le nombre d'individus indique un fléchissement à partir de 1986 largement du à la diminution des espèces allochtones et forestières notées en 1987, alors que le nombre d'espèces ligneuses est exponentiel après quatre années. Pour juger du dynamisme engendré par l'épandage de BRF de charme, il faut comparer les figures 2 et 3 qui nous montrent le

CARPINUS CAROLINIANA



**Fig. no.3 Histogramme montrant l'unique présence des espèces forestières dans la parcelle témoin.**

nombre d'espèces identifiées pendant les cinq saisons de croissance. Le site choisi en 1983 pour faire cette expérimentation avait été déboisé en 1940 sans que la végétation forestière ne parvienne à s'y installer. De quatre espèces forestières apparues à l'origine des essais, nous en sommes encore à 4 en 1987, alors que 6 espèces ligneuses se sont manifestées:



**Fig. no.4 Illustration graphique de la croissance du nombre d'espèces en fonction du temps.**

***Abies balsamea, Betula papyrifera, Betula populifolia, Picea mariana, Populus tremuloides et Prunus pensylvanica.*** Dès l'automne 1983, nous avons procédé à l'ensemencement de graines fraîches de *Picea mariana* et de *Betula alleghaniensis*, sans succès. Autre fait à noter, c'est la provenance du bois raméal. Les prélèvements ont été faits sur des arbres d'un taillis d'érablière à *Carya cordiformis* où la diversité végétale est la plus élevée dans tous les peuplements forestiers du Québec. . Nous posons donc l'hypothèse que la qualité du milieu d'origine ainsi que l'essence considérée sont des facteurs de base dans les résultats obtenus lors de l'humification "in situ", si on compare les résultats de cette essence avec d'autres de peuplements moins riches.. Toutefois, des résultats préliminaires nous laissent croire que des BRF, provenant d'essences croissant isolément, en particulier provenant des arbres d'alignement, donneraient aussi d'excellents résultats à l'humification.

Pour ce qui est de la figure no 4, elle nous montre la croissance du nombre d'espèces colonisatrices en fonction des années. Ainsi c'est à la troisième année que le nombre d'espèces semble atteindre un palier alors que les espèces ligneuses sont en plein essor (fig. no.2), et que le nombre total d'individus de toutes espèces augmente(fig. no.1). Nous sommes en présence d'un phénomène important qui contrôle l'établissement de nouvelles espèces tout en contrôlant le processus pédogénétique. **Nous pensons maintenant que les BRF sont capables d'induire de nouvelles communautés végétales menant à des peuplements forestiers, voire même à supprimer des stades longs et souvent improductifs que sont les peuplements de transition.** Ainsi, le processus d'humification serait-il à la base du contrôle de la dynamique végétale, de la dynamique pédogénétique, ainsi que des aspects trophiques qui en découlent?

## L'HUMUS ET LES VARIATIONS DU pH.

Enfin, notre dernière remarque vise le sol lui-même qui a subi quelques transformations dont la plus importante est une forte variation à la hausse du pH, qui est passé de 5,0 à 6,0. Cette importante remontée sans ajout de substances chimiques comme la chaux vive ou hydratée, est tout à fait caractéristique de l'action des fractions humiques. Comme le montre **Visser (1986)**, les propriétés colloïdales des fractions humiques et leurs groupes acides leur confèrent un pouvoir tampon et une capacité d'échanger des cations, favorisant la stabilisation du p H et sa remontée graduelle, voir même subite dans certains cas.

## SYSTÈMES ENZYMATIQUES ET MICROORGANISMES

Même si nous avons observé plusieurs phénomènes importants que nous ne pouvons que mesurer par incidence, le facteur temps nous interdisant tout autre type de mesure pour l'instant, nous n'avons pas encore fait allusion aux facteurs qui nous semblent les plus importants et qui agissent. Jusqu'ici nous n'avons décrit que les résultantes. Bien que complexes, les mécanismes de transformation nous semblent être avant tout d'origine biologique comme nous le signale **Bachelier (1978)**, dans son important travail. Toutes les transformations d'origine enzymatique, donnant des sous-produits aux caractéristiques physico-chimiques étonnantes, souvent instables, sont tout d'abord produites par des attaques de microorganismes. Encore une fois dans son travail, **Visser (1985)** montre bien l'action des microorganismes et l'importance de l'action des substances humiques sur elles. Tout d'abord, nous voyons qu'il y a interrelation entre la vie comme telle et les résultantes de son activité que sont les précurseurs et les fractions humiques elles-mêmes. Très rapidement, nous voyons dans le travail de **Bachelier (1978)** le rôle que jouent les différents niveaux de vie et, en particulier, celui des animaux les plus négligés de tous et les moins bien connus.

## LA MICROFAUNE

Un des plus importants groupes est celui des Protozoaires composé d'organismes comme les Amibes, les Foraminifères, les Phytoflagellés, les Paramécies, etc... **Horvath (1950)** a montré que les Protozoaires des eaux libres se retrouvent fréquemment associés aux espèces propres aux sols (espèces édaphiques) alors que la majorité sont aérobies. Les Thécamoébiens à titre d'exemple, ont une affinité pour les sols acides. On les retrouve particulièrement dans les tourbes ou dans les horizons humifères des podzols (**Stout 1963**). Ils ont une influence remarquable sur la vie bactérienne du sol et en particulier sur la fixation de l'azote (**Cutler & Bal, 1926**). Si le rôle des Protozoaires est d'une grande importance à cause de la multiplicité des espèces et des genres et de son interaction avec les bactéries, celui des Nématodes, Lombricidés, Enchytréides, Acariens, Collemboles, Myriapodes et autres, l'est encore davantage de par leur spécialisation, les caractéristiques de leur mode de reproduction, leurs systèmes digestifs internes permettant diverses associations avec des bactéries, champignons ou autres, etc...

## HUMUS PAR DÉRIVATION OU CONDENSATION ET POLYMÉRISATION?

Nous pensons que c'est au niveau de la microfaune et de la microflore que débute tout le processus d'humification et dont les composés aromatiques issus de la transformation de la lignine seraient la base, et ce seraient les quinones en particulier. Ceci expliquerait en partie la remontée du pH, du taux d'humus, la mélanisation après 70 jours, la persistance des effets sur plusieurs années, etc... Ceci expliquerait en partie l'inefficacité de l'application de bois caulinaires sous forme de planures, sciures, écorces, etc... dont l'uniformité de la constitution biochimique et, en particulier, la déficience en protéines et acides aminés, rendraient impossible la diversité biologique et l'énergie nécessaire à

l'humification le long de chaînes biologiques extrêmement complexes et diversifiées. A notre connaissance, aucune démonstration de la sorte n'a été faite sur les mécanismes de transformation des fumiers dont la persistance serait moins grande que celle des BRF à cause de la déficience fondamentale en lignine. Comme le mentionne Visser (1986), l'élaboration d'humus en conditions agricoles se fait par condensation des sous-produits de la dégradation des fumiers et autres matières organiques. Ici l'humus est un produit de "condensation" étant donné les faibles quantités de lignine disponibles et les conditions d'oxydation extrêmes. L'application de BRF donne directement au sol le matériau de base de la constitution de l'humus: les matériaux chimiques complexes nécessaires à la transformation ainsi que plusieurs sources d'énergie d'origine protéiques.<sup>11</sup> s'agit de l'élaboration d'un dérivé de la lignine et accessoirement des polysaccharides, avec un minimum d'énergie nécessaire. Des observations récentes semblent nous indiquer que la transformation est bien plus efficace s'il n'y a pas d'attaques fongiques initiales trop violentes, évitant les pertes d'énergie et l'apparition d'inhibiteurs de synthèse.

### Les applications **agricoles.**

Les travaux que nous poursuivons, depuis plusieurs années, nous amènent à réfléchir profondément sur les techniques actuelles en tout ce qui touche les problèmes édaphiques qui vont du manque de matière organique des sols, à leurs structures, aux problèmes trophiques qui en découlent, à l'érosion, de même qu'à un bon nombre de problèmes pathologiques. Bien que nous ayons plusieurs exemples montrant l'effet structurant et trophique des BRF sur un grand nombre de paramètres édaphiques, il n'est pas ici de notre propos de discuter sur chacun des points, de les comparer et de les évaluer. Il est bon cependant de souligner que l'utilisation des produits de synthèse nous a fait négliger l'approfondissement de la connaissance des mécanismes fondamentaux du cyclage des éléments dans le sol tels qu'ils sont

véritablement et non pas seulement comme nous les percevons si souvent, "in vitro", et traduits en équations chimiques à travers les lois de la thermodynamique. S'il est indéniable que les processus physico-chimiques sont d'une importance primordiale dans la mise en circuit des nutriments, il est moins évident, mais aussi certain, que c'est par des voies biologiques que se font les transferts d'énergie et de nutriments de même que leur stockage ou leur mise en circuit.

## **UNE EXPÉRIENCE QUÉBÉCOISE: LA "TERRE NEUVE".**

La matière organique et l'humus qui en dérive, touchent tous les milieux et tous les pays, Ils touchent, d'une façon particulière, les pays tropicaux où est difficile la rétention de l'humus sur de longues périodes à cause d'une activité biologique "excessive". L'ensemble des traditions et techniques agricoles au Québec nous est parvenue en bonne partie par les voies traditionnelles que sont la famille et le bagage culturel qu'elle véhicule. Les changements apportés par l'utilisation des biocides et des engrais de synthèse sont venus bouleverser cet équilibre séculaire des traditions et des techniques agricoles, avec un succès évident, tout en laissant loin derrière, les fumures et les amendements organiques difficilement quantifiables. Il faut cependant noter que parmi tous les pays occidentaux, le Québec est probablement le dernier à avoir bâti une expérience agricole à partir de sols forestiers. Il suffit de rappeler l'intervention de la génération précédente, dans la mise en culture des terres en dehors de la vallée du Saint-Laurent et qui, dans bien des cas, sont déjà retournées à la forêt à cause d'un excès de bonne volonté... et d'un manque de connaissances. En cette fin du xx<sup>e</sup> siècle, plusieurs se souviennent encore des premières récoltes obtenues sur des sols récemment empruntés à la forêt. La qualité et le volume des premières récoltes de céréales ont été, pour plusieurs, un miroir aux alouettes. L'augmentation de la température des couches supérieures du sol ainsi que l'absence de cyclage des nutriments, faute d'arbres, mirent en circuit tous les nutriments disponibles, même ceux des fractions humiques qui furent rapidement exportés par les cultures. Nous

savons maintenant que l'adjonction de quelques dizaines de mètres cubes à l'hectare de BRF, annuellement, aurait pu maintenir et améliorer les rendements presque indéfiniment.

## LES SOLS AGRICOLES QUÉBÉCOIS SONT D'ORIGINE FORESTIÈRE.

Il faut constamment se rappeler que tout le domaine agricole au Québec comme dans un bon nombre de pays occidentaux, est d'origine forestière. Il n'est certainement pas exclus de penser qu'une régie forestière des sols agricoles serait largement supérieure à la régie prairiale que nous leur imposons. Nous devons admettre que la presque totalité des producteurs agricoles et forestiers ne sont pas au fait du rôle que jouent les fractions humiques dans le sol, d'où le peu d'intérêt porté à la matière organique. A partir de l'utilisation traditionnelle du fumier et des résidus de tout acabit, il n'y avait qu'un pas à franchir pour conclure qu'il n'y a que les ordures et rebuts de toutes sortes qui étaient bonnes pour le sol. Ainsi, à notre connaissance aucun effort n'a été fait. pour classifier les rôles et les valeurs des différentes "matières organiques". Cela est tout à fait conforme à l'absence de connaissances sur l'humification et le rôle des fractions humiques et fulviques. Ainsi parle-t-on sans distinction de **taux d'humus** ou de **taux de matière organique** d'un sol. Nous pensons que la spécificité de chacune des essences forestières (Lemieux **1985**) potentielle ou formelle est un apport fondamental aux voies à suivre sur les processus d'humification et leurs relations avec les mécanismes de contrôle écologique. Nous pensons que les relations qui existent entre la biologie du sol et l'humification (**Ponge, Vannier, Arpin & David, 1986**) en milieu forestier, ne sont plus à démontrer pour ce qui est des collemboles et des nématodes de concert avec les bactéries et les champignons; ce qui devrait nous inciter à en connaître davantage. Il y a là une piste de recherche très sérieuse nous permettant d'identifier, avec le plus d'exactitude possible, tout le processus de synthèse des fractions

humiques et fulviques ainsi que les règles qui président à leurs variations structurales ou comportementales.

## **DES STRATÉGIES DE TRANSFORMATION INDUITES PAR LES BRF.**

Dans leurs travaux sur le séchage des bois de bouleau (*Betula* spp.) et ceux d'aulne (*Alnus* spp.) **Korytarova & Chovanec (1985)** ont souligné que, dès l'abattage des tiges, il y avait un mécanisme de défense interne des tissus qui commandait la mobilisation de toutes les substances protéiques et les polysaccharides disponibles pour bloquer les pertes en eau et, de ce fait même, arrêter la pénétration des champignons et des bactéries. Nous voyons par ce fait que, dès le prélèvement, les bois raméaux se modifient de l'intérieur, appelant déjà des stratégies d'attaque particulières conduisant inévitablement à la production d'un équilibre de vie propre à certains groupes de micro et mésoorganismes qui seront favorisés au détriment d'autres. Ainsi, le cyclage et le recyclage des nutriments, peuvent en appeler de nouveaux avec des écarts de tolérance qui sont énormes. Toutes modifications excessives qui amènent des produits compatibles avec les fractions humiques et argileuses du sol, mais dont la dégradation n'est pas assurée par des activités biologiques, tendent à se fixer et à rompre les équilibres qui se manifestent. Il ne reste que le temps pour refaire vie et équilibre.

Selon les observations que nous faisons en relation avec les précipitations acides, il semble que les marges de tolérance aient été atteintes, soit au niveau des micro organismes, soit au niveau des substances humiques elles-mêmes. **Fortescue & Burger (1973)** ont montré qu'il y avait une corrélation entre la présence de potassium dans la roche mère d'un sol forestier et la teneur du même élément dans les tissus des arbres du site. On constate maintenant, dans les sites fortement marqués par les précipitations acides, un blocage du potassium. N'y aurait-il pas des relations avec la modification des fractions argilo-humiques, humiques, et fulviques et même avec des équilibres

biologiques de base comme les relations bactéries-bactériophages ou champignons-Oribates qui rendraient les échanges biochimiques impossibles?

Lors de nos premières expérimentations en 1982, nous étions loin de nous douter de ce qui nous attendait. Le premier effort visait à mettre en valeur une matière inconnue, et de ce fait complètement négligée. Mais voilà que nous nous sommes retrouvé dans les domaines de l'humus et sa structure, de la nutrition végétale, la microfaune du sol, etc... Nous voulions comprendre ce que nous observions et dont nous ne trouvions trace dans la littérature, si ce n'est que de façon partielle et sous les rubriques les plus diverses. Nous sommes constamment "accusés" d'empirisme dans notre démarche expérimentale puisque nous avons choisi le cas des bois raméaux, et de suivre toutes les étapes de leurs transformations dans le milieu forestier et le milieu agricole. Pour la première fois, nous présentons notre "défense", ce qui n'est pas une mince tâche! Nous devons soutenir une thèse qu'aucun de ceux qui font la promotion des fumiers et des engrais verts en agriculture n'ont eu à soutenir, la tradition et la croyance faisant foi de tout. Pour ce qui est de la question forestière, elle nous semble encore plus complexe. Les substances humiques et leurs synthèses n'ont pas fait l'objet de grands travaux, si ce n'est plutôt de l'évolution des matières de base comme les protéines, acides aminés, les polysaccharides, etc. Ce n'est que récemment, mis à part les champignons, que des travaux sur la faune du sol ont été menés et particulièrement en France, seuls les lombrics, ont fait l'objet d'études depuis plusieurs décennies.

## **CONCLUSIONS**

Les conclusions que nous apportons sont de plusieurs ordres, quoiqu'il nous faut souligner que la majorité des expériences auxquelles nous nous

référons, ont été faites à partir d'acides humiques et fulviques extraits de charbon ou de tourbe. Ceci explique en partie les ordres de grandeur qui diffèrent entre nos observations et celles des différents auteurs. Toutefois, les propriétés propres aux macromolécules d'humus ont toutes été observées, telles la remontée du pH, l'assouplissement du sol, la mélanisation ainsi que le pouvoir tampon. Du côté forestier, plusieurs phénomènes sont également notés comme la sélection des plantes en faveur de l'installation de plantes forestières et surtout ligneuses, la richesse en espèces selon la provenance des BRF, une plus grande fertilité selon que les BRF sont disposés en litière ou mélangés avec le substrat, etc...Il nous est de plus en plus évident que c'est au niveau de l'humus, de sa synthèse, de sa dégradation, de ses effets physiques et physico-chimiques que se trouve une bonne partie de la réponse, si non la réponse entière aux questions posées par l'humification des BRF. L'humus devra faire l'objet de nombreuses mesures et observations afin d'en apprendre davantage. Mais la chose nous semble acquise qui est la distinction qu'il nous faudra faire entre matière organique et humus.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bachelier, G. (1978) La faune des sols, son écologie et son action. Document technique no. 38, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outremer (ORSTOM) 70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy France, 391 pages.
- Bottomley, W.B. (1914) "Some accessory factors in plant growth and nutrition" Proc. Royal Soc. London ser. B 88: 237-247.

Bottomley, W.B. (1917) "Some effects of organic growth-promoting substances (auximones) on the growth of *Lemna minor* in mineral culture solution." Proc. Royal Soc. London Ser. B. 89: 481-487.

Bottomley, W.B. (1920) "The effect of organic matter on the growth of various plants in culture solutions." Ann. Bot. (London) 34: 353-365.

Chaminade, R. (1958) "Influence de la matière organique humifiée sur l'efficacité de l'azote" Ann. Agr. (Paris) 9: 167-192 .

Clark, N.A. (1924) "The soil organic matter and growth-promoting accessory substances." Ind. Eng. Chem. 16: 249-250.

Clark, N.A. & Roller, E.M. (1924) "«Auximones» and the growth of the green plant." Soil Science 17:193-198.

Cutler, D.W. & Bal, D.V. (1926) "Influence of Protozoa on the process of nitrogen fixation by *Azotobacter chroococcum* ." Ann. Appl. Biol. 13: 516-534.

Fortescue, J.A.C. & Burger, D. (1973) "Landscape geochemistry and forest fertilization." in Forest Fertilization Symposium Proceedings, USDA Rep. No. NE-3 pp.226-233.

Guay, E. Lachance, L. & Lapointe, R.A. (1981) "Observations sur l'emploi des résidus forestiers et des lisiers en agriculture." Ministère de l'Energie et des Ressources (Forêts), Québec, rapport interne polycopié, 25 pages.

- Guay, E. Lachance, L. & Lapointe, R.A. (1981) "Observations sur l'emploi de résidus forestiers et de lisiers chez trois agriculteurs, Carrier, Fournier et Marcoux." Ministère de l'Energie et des Ressources (Forêts), Rapport Technique, 34 pages.
- Guay, E. Lachance, L. & Lapointe, R.A. (1982) "Observations sur l'emploi de résidus forestiers et de lisiers chez trois agriculteurs, Carrier, Fournier et Marcoux." Ministère de l'Energie et des Ressources (Forêts), Rapport Technique, 41 pages.
- Horvath, J. (1950) "Contribution to studies on soil Protozoa of the Ciliata group, with special regard to their adaptation to soil conditions." Magyar Biol. Kutatéintézet Evk. 19: 151-162.
- Khristeva, L.A. (1953) "The participation of humic acids and other organic substances in the nutrition of higher plants." Pochvivedenie 10: 464-59.
- Khristeva, L.A. & Manoilova, A. (1950) "The nature of the direct effect of humic acids on the growth and development of plants." Dokl. vsesoyuz Akad. s.-kh. Nauk Lenina, 11: 10-16.
- Korytarova, O. & Chovanec, D. (1985) "Zur problematik des Schutzes von Birke und Erie gegen Lagerungsschaden." Holztechnologie, 26:no.2: 79-80 Leipzig.
- Kozlowski, T. & Winget, C.H. (1964) "The role of reserves in leaves, branches, stems, and roots on shoots growth of Red Pine." Amer. Jour. Bot. 52, no.5: 522-529.

Lemieux, G. (1985) "Essais d'induction de la végétation forestière vasculaire par le bois raméal fragmenté." Université Laval, Québec, 109 pages.

Lemieux, G. (1986) " Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol" in Comptes rendus du colloque *AMENDEMENTS DES SOLS, PERSPECTIVES D'AVENIR*. Ministère de l'Energie et des Ressources (Forêts) Québec, pp 175-197.

Mockridge, F.A. (1920) "The occurrence and nature of the plant growth-producing substances in various manurial composts." *Biochem. Journ.* 14: 432-450.

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.

Ponge, J-F. Vannier, G. Arpin, P. & David, J-F. (1986) "Caractérisation des humus et des litières par la faune du sol." *Rev. For. Fran.* 38: 509-516.

Stout, J.D. (1963) "Some observations on the protozoa of some beech wood soils on the Chiltern Hills." *Jor. Anm. Ecol.* 32: 281-287.

Stout, J.D. (1968) " The significance of the protozoan fauna in distinguishing mull and mor of beech (*Fagus silvatica*)."  
*Pedobiologia* 8: no.3: 387-400.

Tremblay, Y. (1985) "Essais comparatifs de l'utilisation de la biomasse forestière et du lisier de porc dans la culture des pommes de terre, par le compostage de surface avec apports variables d'engrais de synthèse." Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec, rapport interne, 8 pages.

Visser, S.A. (1985) " Physiological action of humic substances on microbial cells." *Soil Biol. Biochem.*17: 457-462.

Visser, S.A. (1986) "Effects of humic substances on plant growth." REDA, Rome, p. 89-135.

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'Energie et des Ressources (Forêts) Québec, pp 11-33.

mars1988  
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° 11  
(deuxième édition 1992)  
courriel:  
gilles.lemieux@sbf.ulaval.ca  
<http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>  
FAX 418-656-3177  
tel. 418-656-2131 poste 2837  
ISBN 2-550-21341-6