

UNIVERSITÉ LAVAL

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

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

Colloque sur les amendements des sols: perspectives d'avenir

**Institut de Technologie Agroalimentaire
Saint-Hyacinthe**

«Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol»

par le professeur

Gilles Lemieux

Novembre 1986

Publication numéro 6

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

Publication numéro 6
Novembre 1986

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)

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

Télécopieur : (418) 656-2837
Tél. : (418) 656-2131, poste 2837

ISBN 2-550-21338-1

Université Laval

**Département des Sciences forestières
Faculté de Foresterie et de Géodésie
Québec**

Texte présenté au colloque

AMENDEMENTS DES SOLS : PERSPECTIVES D'AVENIR

Par

Gilles Lemieux

Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol

Sous les auspices du

Ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts)

Ainsi que de

L'Institut de Technologie agro-alimentaire de Saint-Hyacinthe

12 novembre 1986

**Saint-Hyacinthe, Québec
J2S 2M2**

Le bois raméal et les mécanismes de la fertilité du sol

Gilles Lemieux

Département des Sciences forestières
Faculté de Foresterie et de Géodésie
Université Laval – Québec

A l'été 1978, lors d'une période particulièrement sèche, Guay, Lachance et Lapointe (1981) à la recherche de matériaux pour réduire la perte en eau du sol utilisent pour la première un résidu forestier peu usuel que sont les fines branches des arbres mais fragmentées en copeaux. A partir des résidus d'émondage d'arbres provenant de milieux urbains et fournis par l'Hydro-Québec, ils devaient ouvrir la porte à tout un monde jusqu'ici insoupçonné. Ils ont été les premiers à faire la distinction entre le bois de tronc ou de tige avec celui des rameaux. La fragmentation maintenant possible depuis quelques années donne une toute autre dimension à cette partie de l'arbre qui a toujours été considérée comme "résidu", "déchet", ou encore pire comme **BRANCHES**, le bois des pauvres dans toute la littérature européenne.

Depuis fort longtemps tout ce qui n'est pas bois de tronc est considéré comme déchet ou résidu forestier; c'est une désignation simpliste. Malgré les sommes énormes englouties dans la recherche pour se débarrasser de ces matériaux, les résultats ont toujours été mitigés, voir franchement négatifs. Les sciures et les écorces forment généralement un matériau composite à partir de plusieurs essences, tandis que les drèches sont monospécifiques à partir des branches, non pas du tronc. Comme l'ont démontré Kozlowski & Winget (1964) dans le cas de Pinus resinosa, cette distinction se révèle fondamentale.

La nature du bois raméal par rapport au bois caulinaire

Nous considérons à toutes fins pratiques que le bois **raméal** possède un diamètre inférieur à 7 cm, puisqu'au delà il est considéré comme bois de chauffe et nécessite une machine puissante pour la fragmentation. Au point de vue chimique, il possède un C/N, c'est-à-dire d'un rapport polysaccharides sur protéines variant entre 50/1 et 175/1, selon les espèces et les saisons. Dans les mêmes conditions, le bois **caulinaire** aura un C/N de 400/1 à 600/1 à cause de la faible quantité d'acides aminés et de protéines dans ses tissus. Quant aux écorces, elles seront un peu plus riches que le bois caulinaire, parce qu'elles contiennent souvent beaucoup d'éclats de cambium.

Bien que nous ne voulons et ne pouvons avec précision donner des chiffres pour quantifier les divers composants, voici un tableau comparatif général entre le bois raméal et le bois caulinaire.

Bois raméal

Cellulose et hémicellulose
Pectine et lignine
Acides aminés (élevés)
Protéines (élevées)
Sucres disponibles (élevés)
Rapport C/N faible

Bois caulinaire

Cellulose et hémicellulose
Pectine et lignine
Acides aminés (faibles)
Protéines (faibles)
Sucres disponibles (faibles)
Rapport C/N élevé

Il est assez facile de vérifier ces différences relatives tout simplement en observant le comportement des empilements de sciures, copeaux de bois caulinaire et copeaux de bois raméal. Dans les deux premiers cas l'échauffement dû à la fermentation enzymatique et aux attaques bactériennes et fongiques est faible et a peu de conséquence sur la qualité du matériau à moyen, voir même à long terme. Dans le cas des copeaux de bois raméaux, l'inverse se manifeste souvent dans les heures qui suivent. La fragmentation où l'on note des élévations de plusieurs dizaines de degrés dans une période inférieure ou égale à 48 heures. Ainsi assiste-t-on à des changements de couleur du matériau très rapidement, mais également l'apparition de mycélium de différents champignons. Dans les deux cas cependant en anaérobiose, les trois types de matériaux voient leur pH baisser considérablement.

Comme nous venons de le voir, le bois raméal fragmenté est très susceptible à l'altération principalement à cause de sa richesse d'ordre biologique et accessoirement d'ordre chimique. Ce que Guay, Lachance et Lapointe nous ont montré en plus de la qualité exceptionnelle du bois raméal par rapport au bois caulinaire, c'est la façon de l'utiliser en AEROBIOSE. C'est en appliquant de minces couches de bois fragmenté sous forme de copeaux (de 2 cm à 8 cm) en **MELANGE AVEC LES 10 PREMIERS CENTIMETRES DU SOL** qu'ils ont montré les effets de l'aérobiose sur la transformation non seulement des copeaux mais également du sol lui-même à plusieurs points de vue que nous discuterons plus loin.

Nous avons donc essayé de voir ce que la littérature scientifique donne tout d'abord sur le bois raméal et son effet sur le sol en aérobiose. Nous n'avons rien trouvé, si ce n'est que les copeaux de bois sont perçus, ainsi que les sciures, comme des matériaux "homogènes" dans leur ensemble plutôt gênants qu'utiles, d'où leur désignation de RESIDUS ou encore de DECHETS. Toutefois, les tentatives pour homogénéiser davantage ces matériaux et en faire des composts par anaérobiose, sont innombrables et ont coûté aux entreprises des sommes considérables, avec des résultats plus que douteux au niveau de la rentabilité de l'opération. Pour ce qui est de la définition chimique, biologique, anatomique, biochimique, etc... des bois raméaux, nous n'avons rien trouvé si ce n'est des descriptions physiologiques, anatomiques ou histologiques dont plusieurs remontent au XIX^e siècle. Au niveau des sols, il en va de même. Il y a de nombreuses et très savantes études sur les différents types de tourbes et leurs effets sur les sols ainsi que sur les fumiers, les lisiers, les tourteaux, les drèches, etc... Toutefois nous devons avouer n'avoir rien trouvé sur la BIOLOGIE DE LA PEDOGENESE si ce n'est que quelques études descriptives sur la faune du sol, sur la flore fongique, etc... bien

qu'il semble que les facultés de Nancy et de Louvain commencent à s'intéresser au raie de la pédofaune.

Depuis près de cinq ans que nous nous intéressons à ce domaine nous n'avons pas encore beaucoup publié sur la question. Il faut admettre que vu la lenteur des réactions biologiques, on ne peut publier de résultats avant qu'ils n'apparaissent. Jusqu'ici les milieux scientifiques ont réagi avec prudence et une certaine incrédulité. Pour ce qui est des milieux professionnels, ils ont souvent réagi de façon "ironique". Par contre, dans les milieux de praticiens, tant forestiers qu'agricoles la réaction a été et est toujours beaucoup plus franche et ouverte. L'analogie qu'il y a entre la terre neuve et celle produite par les bois raméaux fragmentés tant au point de vue structure que de rendements séduit les vieux et les jeunes agriculteurs. Les vieux agriculteurs se souviennent tous des "MERVEILLEUSES RECOLTES" de céréales après l'abattage de la forêt et de la misère revenue après dix ans de culture.

L'expérimentation agricole

Les essais de l'été 1978 ont été faits pour minimiser les pertes par rapport à la sécheresse qui sévissait à l'époque. C'est l'Hydro-Québec qui a fourni les premiers contingents de copeaux provenant d'arbres abattus en milieu urbain ou rural ou tout simplement constitués de résidus d'émondage, provenant de l'entretien des lignes de distribution. Bien que constitués d'essences diverses souvent d'origine étrangère, une chose était certaine; il s'agissait bien de bois raméaux.

La littérature scientifique nous enseigne que la "minéralisation" du bois crée une "faim" d'azote occasionnant des troubles divers. Pour éviter cette déficience azotée, Guay, Lachance et Lapointe ont eu recours à l'épandage de lisiers de porc, faisant ainsi d'une pierre deux coups : l'élimination d'un déchet agricole gênant et la création d'une source d'azote peu coûteuse.

À la fin de la première saison, voici les résultats obtenus :

1. Minéralisation presque totale du bois raméal après 70 jours.
2. Résorption totale des odeurs du lisier de porc dans les heures qui suivent l'épandage après hersage.
3. Maintien de la récolte par opposition aux témoins.
4. Mélanisation du sol.
5. Augmentation du taux de matière organique.
6. Montée notable du pH.

Nous pensons que ces résultats rapides sont en bonne partie attribuables à l'été sec et chaud qui a fourni un apport thermique accélérant tout le processus biologique. Nos observations de l'été 1983 et de l'été 1984 nous laissent également à penser que les bois raméaux de certaines essences sont susceptibles de retenir beaucoup d'eau non liée, donc disponible aux transformations biologiques en période sèche.

Dans les années qui ont suivi cet épandage de copeaux, les récoltes d'avoine et d'orge ont doublé en rendement avec des apports d'engrais réduits. Il en va de même pour les fraises et les pommes de terre. En 1983, nous avons observé, à notre grande surprise que l'une des fraisières traitées était exempte de pucerons alors que la parcelle témoin en était littéralement infestée. Il y a probablement là un effet de la présence d'acides aminés libres dans le sol.

Dans les fraisières ainsi que dans nos parcelles expérimentales nous observons depuis quelques années une prolongation de la saison de croissance et de la résistance au gel. Grâce à cet effet de résistance au froid, une série d'expérimentations effectuées par Agriculture-Canada à la forêt Montmorency de l'Université Laval a mis en évidence la possibilité de mener à terme la culture de certaines espèces de blé et de seigle dans des conditions insoupçonnées jusqu'à ce jour.

Au Lac-Saint-Jean, une jeune compagnie, Trans-Forêt limitée, a mis au point un procédé à partir d'écorce de tremble et de lisier de porc en l'absence de bois raméaux fragmentés disponibles sur le marché, pour l'amélioration des sols en culture de pommes de terre. D'après **Tremblay (1985)**, ce procédé a augmenté la teneur en matière sèche des pommes de terre, diminué les agents pathogènes présents à la surface des tubercules, réduit l'utilisation d'engrais chimiques et en même temps augmenté les rendements à l'unité de surface.

Nos observations de l'été 1986 nous montrent que les parcelles traitées au début ont encore un sol nettement plus mélanisé que les témoins tout en ayant le même taux de matière organique. Malgré tout, le rendement en avoine à l'unité de surface est encore supérieur à ce qu'il était et à ce que sont les places témoins. N'est-ce pas là l'effet de **TERRE NEUVE** !

L'expérimentation forestière

Après avoir observé les effets agricoles de l'application de bois raméal au sol, nous avons voulu en savoir plus long à la fois sur les mécanismes de transformation et sur le comportement des bois raméaux de différentes espèces ligneuses forestières. Trois avenues s'offraient à nous dans l'établissement d'un protocole expérimental : les analyses chimiques et biochimiques basées sur l'évolution de certains paramètres, l'approche microbiologique de même que l'approche phytosociologique de plantes vasculaires représentant l'évolution ultime du bois raméal par la constitution de nouvelles sociétés végétales. Nous sommes, après quatre années, convaincu d'avoir choisi la bonne avenue en utilisant l'approche phytosociologique, puisque nous voyons maintenant assez clairement comment les approches biochimiques et microbiologiques viennent compléter notre tentative pour cerner correctement la question.

Mis à part quelques rares auteurs tels, Melin (1930), Nykvist(1963), Wollum & Davey (1935), ainsi que Ahlgren et Ahlgren (1981). la littérature scientifique ne nous a pas apporté beaucoup de lumière sur les mécanismes qui

président à la transformation des bois raméaux, si ce n'est par analogie avec la minéralisation de la litière, ce qui nous a rapidement semblé insuffisant. Voici les contraintes que nous nous sommes imposés et les raisons qui nous ont conduit à les choisir :

1. Choisir un site expérimental où la fertilité locale peut être facilement évaluée et dont l'histoire récente est connue.
2. Prélever le bois raméal en des temps physiologiques précis afin de mieux évaluer les aptitudes et les contraintes propres à chacune des essences testées.
3. Etablir des parcelles de quelques mètres carrés pouvant être évaluées régulièrement durant plusieurs années dans des conditions comparables d'une année à l'autre.
4. Epancher de 3 à 5 cm de bois raméal fragmenté sur le sol dont la demie de chaque parcelle serait scarifiée pour assurer un meilleur contact avec le soi (méthode propre à l'agriculture), et l'autre ne le serait pas comme la litière en milieu forestier.
5. Le bois raméal devrait être prélevé dans diverses régions du Québec à partir de peuplements climaciques connus au point de vue structure de la végétation et du sol.

Les premiers résultats obtenus en 1984 nous ont incité à élargir quelque peu notre dispositif expérimental pour pouvoir comparer les effets et les qualités des processus d'humification avec ce qui se passe sous couvert forestier de l'érablière.

Au printemps 1984, nous établissions près de 30 parcelles de différentes essences sous couvert forestier. La même année, nous avons également traité un hectare d'érablière avec trente tonnes de bois raméal fragmenté d'ALNUS RUGOSA, ainsi que 600 m² de sapinière, Dunnigan (1985), les deux types de peuplements étant atteints par les effets des précipitations acides.

Comme les résultats ne commencent à être perceptibles qu'après la troisième année en milieu naturel, au lieu de la même année en milieu agricole sec et chaud, voici comment a évolué l'installation des dispositifs expérimentaux :

1983

Établissement de 31 parcelles scarifiées et non scarifiées portant sur les bois raméaux de 30 espèces provenant de la région montréalaise, du Lac-Saint-Jean et de la région de Québec. Elles ont toutes été récoltées au moment de la floraison avec des feuilles ou non selon les régions et les essences.

1984

Établissement de 62 parcelles scarifiées et non scarifiées à partir de bois raméaux récoltés avant la période d'aoûtement soit entre le 15 juillet et le 15 août. Ici le matériel

comprend des espèces provenant uniquement de la région québécoise et de la réserve des Laurentides, y compris une espèce introduite (*Juglans nigra*) et deux espèces herbacées (*Solidago rugosa* et *Aster umbellatus*).

1985

Établissement de 30 parcelles sous le couvert de l'érablière à partir de bois raméaux récoltés en pleine période de floraison dans la région montréalaise et dans la région de Québec.

Epannage de 30 tonnes de bois fragmenté d'*Alnus rugosa* sur le parterre de l'érablière pour en évaluer les effets tant sur la litière que sur l'évolution du dépérissement des arbres déjà sérieusement atteints. Des volumes proportionnellement analogues ont été épanchés sur 600 m² d'une sapinière également atteinte.

1986

Établissement de 68 parcelles dans une friche en voie de recolonisation après trente ans d'abandon de culture. Ici le bois raméal a été récolté entre le 15 novembre et le 15 février et fragmenté au printemps seulement. Le matériel provient de la région de Québec, de la région de Papineauville, ainsi que de la Réserve des Laurentides.

Il nous faut ajouter ici des travaux importants de fragmentation de jeunes peuplements entiers par une équipe dirigée par M. Jean Dunnigan que nous allons surveiller de très près pour en connaître l'évolution et en évaluer les effets à tous les points de vue. L'ensemble des travaux couvrent plus de 4 ha à Sainte-Christine, comté Portneuf, Fortierville et Saint-Sylvestre, comté Lotbinière, grâce au support financier du Centre de Recherches Forestières des Laurentides et de l'appui du Ministère de l'Énergie et des Ressources.

L'ensemble de nos parcelles est regroupé à Saint-Damien, comté Bellechasse, sur les propriétés du Dr. Marcel Goulet, professeur à la Faculté de Foresterie de l'Université Laval. Cette région du Québec, représente bien à tous les points de vue, les conditions moyennes de la forêt privée c'est-à-dire un mélange de forêt feuillue (érablière), de forêts résineuses (sapinière à thuya) et d'agriculture. En outre, cette région agro-forestière a un autre attrait, celui de posséder une histoire régionale connue. Ainsi est-il possible de retracer l'histoire de chaque parcelle de terre depuis au moins un siècle.

Le site "Moulin" où sont regroupées plus de 100 parcelles expérimentales a été déboisé en 1940. En 1983, il n'y avait pas encore de régénération; le site étant couvert de polytrics, lichens et de quelques plantes supérieures comme *Panthonia spicata* et *Solidago hispida*. Cet aspect est important, puisqu'il nous permet d'identifier tous changements dans les parcelles dus au bois raméal non pas au sol lui-même, stérile depuis si longtemps.

Pour sa part, le site "Érablière" a été choisi pour essayer de mesurer les changements apportés sur la végétation par les bois raméaux et mesurer divers paramètres physiques chimiques et physico-chimiques durant leur humification sous les

conditions moyennes d'un peuplement climacique. La partie la plus haute et la plus drainée du site "Érablière" a montré des signes évidents de dépérissement causés par les précipitations acides. Nous avons donc traité un hectare de ce site avec 30 tonnes métriques de bois raméal d'*Alnus rugosa* pour essayer de mesurer les effets de ces derniers sur la communauté végétale. Nous avons appliqué le même traitement sur 600 m² d'une sapinière à tremble établie sur une moraine de fond grossière présentant aussi des signes de dépérissement. Ici toute croissance en diamètre est arrêtée depuis plus de 10 ans.

Quant au site "Huitième rang", il est situé sur une ferme abandonnée au début des années 1950 et qui se régénère très difficilement : après plus de 30 ans, il n'y a que des herbacées et quelques rares arbustes accompagnés des pommiers plantés à l'époque. Ce site est constitué de parcelles dont le bois raméal a été récolté en pleine période de dormance soit entre novembre et février. L'autre caractéristique de ce site est d'avoir à chaque parcelle une couche de 10 cm de bois raméal au lieu de 3 à 5 cm comme dans les autres sites. Il nous a semblé que la faible litière des autres sites introduisait de grandes variations dans le processus d'humification par des pertes par rayonnement, ainsi que des arrêts occasionnés par des pertes en eau par évaporation.

Pour ce qui est des trois sites forestiers fragmentés sur place, soit Sainte-Christine, Fortierville et Saint-Sylvestre, ce sont dans tous les cas d'anciennes terres cultivées revenues en broussailles où les stades de recolonisation se prolongent sous forme de saulaies, de bétulaies grises, etc... L'ensemble du matériel végétal a été fragmenté et laissé sur place. Il ne pourra donner de résultats mesurables avant deux ans au moins.

Voici donc dans les lignes qui suivent le détail de chaque parcelle. On y trouvera le nom de chaque essence fragmentée, le numéro de la parcelle, le traitement du sol, l'année de son implantation ainsi que le site où elle se trouve. Occasionnellement suivra les qualités du matériel pour des études de comparaison, telles les écorces, les drèches de distillation, etc.

<i>Abies balsamea</i>	32	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Abies balsamea</i>	31		1983	Site Moulin (drèches)
<i>Abies balsamea</i>	33		1983	Site Moulin (écorces)
<i>Abies balsamea</i>	59a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Abies balsamea</i>	59b		1984	Site Moulin
<i>Abies balsamea</i>	82		1985	Site Érablière
<i>Abies balsamea</i>	93		1986	Site Huitième Rang
<i>Abies balsamea</i>	121		1986	Site Huitième Rang (drèches)
<i>Abies balsamea</i>	122		1986	Site Érablière
<i>Abies balsamea</i>	123		1986	Site Moulin
<i>Acer negundo</i>	37		1984	Site Moulin
<i>Acer negundo</i>	85		1985	Site Érablière
<i>Acer negundo</i>	120		1986	Site Huitième Rang
<i>Acer platanoides</i>	152		1986	Site Huitième Rang
<i>Acer rubrum</i>	6	scarifié	1983	Site Moulin
<i>Acer rubrum</i>	60a	scarifié	1984	Site Moulin
<i>Acer rubrum</i>	60b		1984	Site Moulin
<i>Acer rubrum</i>	78		1985	Site Érablière
<i>Acer rubrum</i>	97		1986	Site Huitième Rang
<i>Acer rubrum</i>	136		1986	Site Érablière
<i>Acer rubrum</i>	137		1986	Site Moulin
<i>Acer rubrum</i>	138		1986	Site Huitième Rang
<i>Acer pensylvanicum</i>	39a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Acer pensylvanicum</i>	39b		1984	Site Moulin
<i>Acer pensylvanicum</i>	96		1986	Site Huitième Rang
<i>Acer saccharum</i>	54a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Acer saccharum</i>	54b		1984	Site Moulin
<i>Acer saccharum</i>	98		1986	Site Huitième Rang
<i>Acer saccharinum</i>	70		1985	Site Érablière
<i>Acer spicatum</i>	19a	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Acer spicatum</i>	19b		1983	Site Moulin
<i>Acer spicatum</i>	42a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Acer spicatum</i>	42b		1984	Site Moulin
<i>Acer spicatum</i>	80		1985	Site Érablière
<i>Acer spicatum</i>	104		1986	Site Huitième Rang
<i>Alnus crispa</i>	27		1983	Site Moulin
<i>Alnus rugosa</i>	14	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Alnus rugosa</i>	45a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Alnus rugosa</i>	45b		1984	Site Moulin
<i>Alnus rugosa</i>	87		1985	Site Sapinière
<i>Alnus rugosa</i>	88		1985	Site Érablière
<i>Alnus rugosa</i>	101		1986	Site Huitième Rang
<i>Amelanchier bartramiana</i>	23a	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Amelanchier bartramiana</i>	23b		1983	Site Moulin
<i>Aster umbellatus</i>	58		1984	Site Moulin
<i>Betula alleghaniensis</i>	20a	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Betula alleghaniensis</i>	20b		1983	Site Moulin
<i>Betula alleghaniensis</i>	61a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Betula alleghaniensis</i>	61b		1984	Site Moulin
<i>Betula alleghaniensis</i>	94		1986	Site Huitième Rang
<i>Bétula papyrifera</i>	116		1986	Site Huitième Rang
<i>Betula populifolia</i>	1a	Scarifié	1983	Site Moulin

<i>Betula populifolia</i>	1b		1983	Site Moulin
<i>Betula populifolia</i>	62a	scarifié	1984	Site Moulin
<i>Betula populifolia</i>	62b		1984	Site Moulin
<i>Betula populifolia</i>	125		1986	Site Érablière
<i>Betula populifolia</i>	126		1986	Site Moulin
<i>Betula populifolia</i>	124		1986	Site Huitième Rang
<i>Betula populifolia</i>	130		1986	Site Érablière
<i>Betula populifolia</i>	131		1986	Site Moulin
<i>Betula populifolia</i>	132		1986	Site Huitième Rang
<i>Betula populifolia</i>	133		1986	Site Érablière
<i>Betula populifolia</i>	134		1986	Site Moulin
<i>Betula populifolia</i>	135		1986	Site Huitième Rang
<i>Carpinus caroliniana</i>	15	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Carpinus caroliniana</i>	85		1985	Site Érablière
<i>Carya cordiformis</i>	66		1985	Site Érablière
<i>Cornus rugosa</i>	17	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Corylus cornuta</i>	106		1986	Site Huitième Rang
<i>Fagus grandifolia</i>	117		1986	Site Huitième Rang
<i>Fraxinus americana</i>	9	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Fraxinus americana</i>	52a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Fraxinus americana</i>	52b		1984	Site Moulin
<i>Fraxinus americana</i>	74		1985	Site Érablière
<i>Fraxinus americana</i>	108		1986	Site Huitième Rang
<i>Fraxinus pensylvanica</i>	71		1985	Site Érablière
<i>Fraxinus pensylvanica</i>	111		1986	Site Huitième Rang
<i>Juglans cinerea</i>	5	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Juglans nigra</i>	55		1984	Site Moulin
<i>Larix laricina</i>	10	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Larix laricina</i>	46a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Larix laricina</i>	46b		1984	Site Moulin
<i>Larix laricina</i>	107		1986	Site Huitième Rang
<i>Larix europaea</i>	119		1986	Site Huitième Rang
<i>Ledum groenlandicum</i>	28		1983	Site Moulin (drèches)
<i>Myrica gale</i>	29		1983	Site Moulin (drèches)
<i>Picea glauca</i>	36a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Picea glauca</i>	36b		1984	Site Moulin
<i>Picea glauca</i>	89		1986	Site Huitième Rang
<i>Picea mariana</i>	56a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Picea mariana</i>	56b		1984	Site Moulin
<i>Picea mariana</i>	112		1986	Site Huitième Rang
<i>Pinus divaricata</i>	26		1983	Site Moulin
<i>Pinus resinosa</i>	7	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Pinus strobus</i>	2	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Pinus strobus</i>	91		1986	Site Huitième Rang
<i>Populus balsamifera</i>	24a	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Populus balsamifera</i>	24b		1983	Site Moulin
<i>Populus balsamifera</i>	50a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Populus balsamifera</i>	50b		1984	Site Moulin
<i>Populus balsamifera</i>	76		1985	Site Érablière
<i>Populus balsamifera</i>	102		1986	Site Huitième Rang
<i>Populus deltoides</i>	63		1985	Site Érablière
<i>Populus deltoides</i>	118		1986	Site Huitième Rang
<i>Populus grandidentata</i>	4	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Populus grandidentata</i>	47a	Scarifié	1984	Site Moulin

<i>Populus grandidentata</i>	47b		1984	Site Moulin
<i>Populus grandidentata</i>	83		1985	Site Érablière
<i>Populus tremuloides</i>	12	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Populus tremuloides</i>	53a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Populus tremuloides</i>	53b		1984	Site Moulin
<i>Populus tremuloides</i>	69		1985	Site Érablière
<i>Populus tremuloides</i>	77		1985	Site Érablière
<i>Populus tremuloides</i>	95		1986	Site Huitième Rang
<i>Prunus pensylvanica</i>	8	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Prunus pensylvanica</i>	51a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Prunus pensylvanica</i>	51b		1984	Site Moulin
<i>Prunus pensylvanica</i>	84		1985	Site Érablière
<i>Prunus pensylvanica</i>	109		1986	Site Huitième Rang
<i>Prunus serotina</i>	3	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Prunus serotina</i>	75		1985	Site Érablière
<i>Prunus virginiana</i>	79		1985	Site Érablière
<i>Prunus virginiana</i>	90		1986	Site Huitième Rang
<i>Quercus rubra</i>	16	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Quercus rubra</i>	65		1985	Site Érablière
<i>Rhamnus catharticus</i>	73		1985	Site Érablière
<i>Rhus typhina</i>	68		1985	Site Érablière
<i>Rhus typhina</i>	115		1986	Site Huitième Rang
<i>Rubus idaeus</i>	40a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Rubus idaeus</i>	40b		1984	Site Moulin
<i>Rubus idaeus</i>	103		1986	Site Huitième Rang
<i>Salix bebbiana</i>	18a	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Salix bebbiana</i>	18b		1983	Site Moulin
<i>Salix bebbiana</i>	48		1984	Site Moulin
<i>Salix bebbiana</i>	100		1986	Site Huitième Rang
<i>Salix bebbiana</i>	127		1986	Site Érablière
<i>Salix bebbiana</i>	128		1986	Site Moulin
<i>Salix bebbiana</i>	129		1986	Site Huitième Rang
<i>Salix lucida</i>	21a	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Salix lucida</i>	21b		1983	Site Moulin
<i>Salix lucida</i>	43a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Salix lucida</i>	43b		1984	Site Moulin
<i>Salix lucida</i>	86		1986	Site Érablière
<i>Sambucus canadensis</i>	38a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Sambucus canadensis</i>	38b		1984	Site Moulin
<i>Sambucus pubens</i>	25a	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Sambucus pubens</i>	25b		1983	Site Moulin
<i>Sambucus pubens</i>	35a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Sambucus pubens</i>	35b		1984	Site Moulin
<i>Sambucus pubens</i>	105		1986	Site Huitième Rang
<i>Sorbus decora</i>	110		1986	Site Huitième Rang
<i>Solidago rugosa</i>	57		1984	Site Moulin
<i>Spiraea latifolia</i>	41a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Spiraea latifolia</i>	41b		1984	Site Moulin
<i>Thuja occidentalis</i>	22a	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Thuja occidentalis</i>	22b		1983	Site Moulin
<i>Thuja occidentalis</i>	99		1986	Site Huitième Rang
<i>Thuja occidentalis</i>	141		1986	Site Érablière (drèches)
<i>Thuja occidentalis</i>	142		1986	Site Huitième Rang (drèches)
<i>Thuja occidentalis</i>	143		1986	Site Huitième Rang

<i>Thuja occidentalis</i>	149		1986	Site Érablière
<i>Thuja occidentalis</i>	150		1986	Site Moulin
<i>Thuja occidentalis</i>	151		1986	Site Huitième Rang
<i>Tilia americana</i>	13	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Tilia americana</i>	67		1985	Site Érablière
<i>Tilia americana</i>	114		1986	Site Huitième Rang
<i>Tsuga canadensis</i>	113		1986	Site Huitième Rang
<i>Ulmus americana</i>	4	Scarifié	1983	Site Moulin
<i>Ulmus americana</i>	72		1985	Site Érablière
<i>Viburnum alnifolium</i>	44a	Scarifié	1984	Site Moulin
<i>Viburnum alnifolium</i>	44b		1984	Site Moulin
<i>Viburnum cassinoides</i>	49		1984	Site Moulin
<i>Viburnum cassinoides</i>	140		1986	Site Moulin
<i>Viburnum cassinoides</i>	139		1986	Site Érablière
<i>Viburnum trilobium</i>	92		1986	Site Huitième Rang

Les méthodes d'évaluation

Essayer d'évaluer et mesurer les effets et les mécanismes en jeu ici, n'est pas une mince affaire. Les analyses chimiques aussi perfectionnées fussent-elles ne risquent pas d'éclairer notre lanterne. Nous avons donc opté pour une mesure incidente c'est-à-dire l'identification et le comptage des plantes nouvelles colonisant le nouveau milieu et par la suite les autres formes de vie que nos maigres connaissances nous permettrons d'identifier. Puisque dans le contexte forestier, nous cherchons à mesurer ce qui peut être le retour à une forêt exploitable ou à la forêt climacique, notre critère fondamental sera l'identification et le comptage des plantes vasculaires avec emphase sur les plantes ligneuses.

Si les plantes vasculaires supérieures seront toujours notre critère de base pour mesurer l'évolution des bois raméaux au niveau du sol, nous avons rapidement compris que les mécanismes de fertilité et de pédogénèse ne peuvent être approchés par ces simples observations aussi complètes et constantes fussent-elles! Dans la mesure de nos possibilités nous essayons de faire et de consigner des observations sur les bactéries, protozoaires, acariens, insectes de tous acabits et à tous les stades de développement, les amphibiens, les mammifères etc. On doit ajouter aussi de nombreuses observations et récoltes de plantes inférieures telles les Muscinées, lichens et surtout les champignons sous la forme de carpophores. Nous verrons l'importance de ces observations plus loin lors de la discussion sur les hypothèses de base que nous devons développer pour comprendre les mécanismes en jeu.

Il nous faut joindre aux observations d'ordre biologique un certain nombre d'observations d'ordre physique, physico-chimique, biochimique et chimique. Au point de vue physique nous nous intéressons tout particulièrement à la grosseur des copeaux par rapport aux transformations de même qu'à la retenue en eau selon les essences considérées. Le comportement thermique est également observé par rapport au rayonnement et aux pertes par rayonnement.

Du côté physico-chimique, l'évolution du pH est observée et le sera davantage dans l'avenir. Anstett (1959) a mis en évidence que le compostage des sarments de vigne occasionne une remontée remarquable du pH en aérobiose et une baisse en anaérobiose. Lorsque le pH est élevé c'est la flore bactérienne qui est active alors qu'à pH bas c'est la flore fongique qui est favorisée.

Au point de vue biochimique ce sont les sucres, les polysaccharides et la lignine qui nous intéressent le plus. La présence de sucres natifs dans les copeaux semble être importante pour amorcer correctement tout le cycle de la transformation des polysaccharides en sucres assimilables à des niveaux trophiques supérieurs. Ici le rôle double de la cellulose fournissant des sucres par altération des molécules et sa capacité d'échange sont également d'une importance primordiale. Enfin l'évolution du rapport C/N permet d'évaluer l'enrichissement en azote c'est-à-dire en protéines suite à l'enrichissement en espèces des divers niveaux biologiques.

En fait, les méthodes et les niveaux d'évaluation sont aussi variés que multiples et les observations synthétiques nous semblent le seul moyen permettant une approche intelligente de la question, l'approche purement chimique traditionnelle n'apportant aucune perspective et ne permettant aucune interprétation ni hypothèse au sujet des mécanismes en question.

Jusqu'ici, nous avons observé de nombreux résultats mettant en cause de très nombreux mécanismes de tous ordres comme l'avait prédit Melin (1930) travaillant sur la litière de plusieurs essences où chacune montrait des caractéristiques particulières. Pour évaluer les particularités de chaque essence fragmentée, nous procédons chaque année dans la dernière semaine de juin et la dernière d'août à un relevé complet de la végétation de chaque parcelle. Le relevé se fait par comptage de chaque plante ou comme dans le cas de Danthonia spicata, de chaque rosette notant soigneusement le nombre de "individus" par espèce. Nous classons par la suite les espèces en ESPÈCES HERBACÉES ALLOCHTONES, en ESPÈCES HERBACÉES FORESTIÈRES ET PARAFORRESTIÈRES, puis finalement en ESPÈCES LIGNEUSES depuis le genre Spiraea jusqu'aux grands arbres, laissant les plantes ligneuses éricoïdes avec les herbacées.

Le nombre de données que nous avons ainsi recueilli depuis quelques années est impressionnant. Voilà pourquoi nous limiterons notre choix à deux essences provenant de l'érablière soit l'érable à sucre (Acer saccharum) et le sureau rouge (Sambucus pubens) toutes deux fragmentées en 1984.

On remarque à la figure 1 que le nombre d'individus de différentes espèces a tendance à diminuer la deuxième saison de croissance chez Acer saccharum alors qu'il est en augmentation très nette chez Sambucus pubens (fig. 2). Toutefois si on compare les histogrammes (fig. 3 et 4) on remarque que l'accroissement du nombre d'espèces colonisatrices n'est pas le même et surtout leurs catégories. Chez Acer saccharum l'augmentation du nombre d'espèces soit allochtones ou forestières est de 25 % la deuxième année et de 33 % chez les espèces ligneuses, alors que le nombre total d'individus toutes espèces confondues atteint un plateau la deuxième

année. Chez Sambucus pubens on note le phénomène inverse. Le nombre d'espèces tant allochtones, forestières que ligneuses est stable alors que la croissance du nombre d'individus est exponentielle ou presque. Nous nous limiterons à ces deux exemples, puisque nos observations, quoique en nombre encore insuffisant, fourmillent de constatations analogues pour un grand nombre d'essences. Nous avons l'impression d'être en face d'une série de mécanismes d'ordre biologique comme le soulignent Ahlgren et Ahlgren (1981) permettant d'exercer des contrôles écologiques, positifs ou négatifs, sur certains écosystèmes.

Le bois raméal et les mécanismes...
Lemieux, G. 1986

15

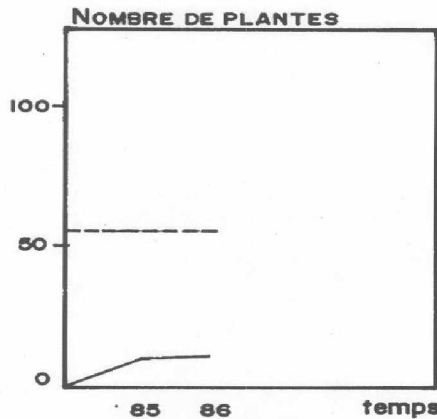


FIGURE 1. 54B Acer saccharum

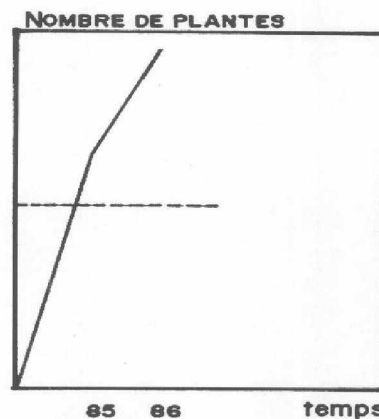


FIGURE 2. 35B Sambucus pubens

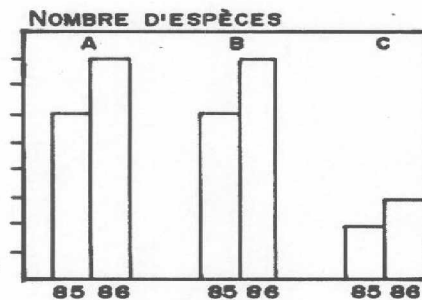


FIGURE 3. 54B Acer saccharum

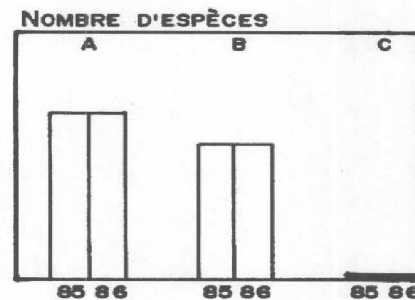


FIGURE 4. 35B Sambucus pubens

A- Plantes allochtones
B- Plantes forestières et para-for.
C- Plantes ligneuses

----- TÉMOINS

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux
Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Université Laval, Québec, Canada

Quelques hypothèses sur les mécanismes en jeu

Nous devons encore procéder par hypothèses de travail puisqu'il nous faut prouver hors de tout doute raisonnable que le bois raméal appliqué au sot a un comportement *cohérent ou non et insoupçonné* jusqu'ici. *Ce n'est qu'après* plusieurs années d'observations que nous nous risquons avec l'aide du Centre de recherches forestières des Laurentides dans une série d'analyses en commençant par celles du bois raméal de différentes essences, récolté à l'hiver 85-86. Nous nous attaquerons également cette année à l'analyse des bois raméaux du site "*Erablière*" pour en examiner de plus près le comportement dans la litière forestière. Il nous faudra sans doute plusieurs années encore afin d'établir avec certitude les tenants et aboutissants de tout le problème.

Les observations que nous avons faites à ce jour nous autorisent à penser que les mécanismes d'humification des bois raméaux aboutissent à des "rééquilibrages" importants de ce que nous appelons le "soi". Les nouveaux équilibres sont avant tout d'ordre "BIOLOGIQUE" bien avant d'être d'ordre chimique. Ce sont les observations en milieu agricole qui nous mènent à cette hypothèse.

Nous avons observé dans la sapinière, 60 jours après l'application de copeaux d'Alnus rugosa une "invasion" de fourmis sur toute la surface traitée. Dans le même temps nous avons observé une "invasion" d'acariens sur toute la surface de l'érablière traitée avec les mêmes copeaux. Sur le site "Moulin" nous avons observé également l'apparition de fourmis mais cette fois d'espèces différentes selon la sorte de bois raméal. Sur le site "Huitième Rang" nous avons observé dans un grand nombre de parcelles une minuscule petite fourmi noire faisant son "nid" directement dans la masse de copeaux. Lorsque le taux d'humidité est assez élevé, nous avons observé de nombreux lombrics directement dans la masse de copeaux également après moins de quarante jours. Voilà une série d'observations sur le monde animal qui ne peut être faite en anaérobiose lors du *compostage en tas de la matière organique*.

Cette année, étant donné les conditions de pluviométrie tout à fait particulières dans notre région, nous avons pu faire la récolte de très nombreux champignons dont les carpophores étaient visibles. Quoique les identifications ne soient pas encore terminées, nous avons pu observer la spécificité de certaines espèces pour certaines essences fragmentées. Pour sa part, la sapinière traitée par les copeaux d'Alnus rugosa nous a fourni plus d'une centaine de récoltes alors que la parcelle témoin était à tout fin pratique "stérile".

Nous sommes portés à penser que la faune qui se développe à partir d'un matériau composite et riche comme le sont les bois raméaux joue un double rôle d'une importance fondamentale. Les systèmes enzymatiques des bactéries, levures, protozoaires, etc... permettent de scinder certaines protéines et de ce fait libérer des acides aminés d'où l'absence de pucerons que nous avons noté chez les fraisiers, mais également phénomène très important dans tout le mécanisme de la pédogénèse. Il est probable, comme l'ont démontré Raibaud & Ducluzeau (1984) que le système digestif de nombreux insectes, annélidés ou mammifères avec leurs flores intestinales anaérobies

puisse accomplir des transformations biochimiques en milieu oxygéné; voilà un paradoxe de la vie qui nous confond toujours. Le deuxième rôle de la faune serait de constituer une réserve inépuisable d'azote sous forme d'excréments et sous forme de biomasse vivante. On peut en dire autant de tous les autres éléments nécessaires à la croissance des plantes, qui stockés sous la forme "animale" peuvent ainsi se situer à l'extérieur des complexes chimiques que nous analysons avec tant de ferveur. Ceci pourrait expliquer la disponibilité de phosphore dans des conditions tout à fait impossibles chimiquement. La faune jouerait à la fois un **ROLE DE TRANSFORMATION ET DE "DISSIMULATION"**.

Dans la même veine, il n'est pas exagéré d'émettre l'hypothèse que la flore fongique a également deux rôles à jouer. Comme chez la faune mais de façon encore plus spécifique, les champignons s'attaquent avec un très grand succès à la dégradation des polysaccharides et de la lignine en particulier. Nous reconnaissons maintenant l'importance des mycorhizes dans la croissance des végétaux. Nous avons également remarqué que dans la culture de fraises, les plants que nous avons examinés étaient tous endomycorhizés, ce qui laisse présumer l'importance du bois raméal à ce chapitre. Nous posons donc l'hypothèse que non seulement les champignons du sol servent à la décomposition de la cellulose, mais, à l'aide de leurs réseaux mycéliens, permettent le transport vers les racines des plantes d'un grand nombre d'éléments peu ou point disponibles chimiquement.

Les bois raméaux permettent donc de rééquilibrer le sol en permettant aux différentes formes de vie de s'ajuster les une aux autres à la suite d'équilibres rompues par l'exploitation agricole ou forestière. Ce nouvel équilibre auquel nous assistons correspond bien à la TERRE NEUVE de nos grands pères. Nous avons l'impression de voir s'établir, les uns après les autres, tous les niveaux trophiques, les uns dépendant des autres.

Nous pensons être maintenant devant un complexe physico-biologique plutôt qu'un complexe physique servant à l'alimentation chimique des plantes. Cette nouvelle perception du sol repose dans ce cas, tout le problème des engrais chimiques en particulier dans le domaine agricole. Il y a certainement là un élément de réponse aux mécanismes de dégradation des sols agricoles. Nous posons également l'hypothèse que c'est à ce niveau de la diversité biologique des sols que se trouve le problème des dégâts causés aux forêts par les précipitations acides. Le fait que les peuplements sur sols minces au sommet des pentes soient plus affectés, nous semble être un indice valable.

Conclusions

Il est évident que le problème soulevé par les bois raméaux appliqués au sol en est un de taille et qu'il ne pourra être résolu en un temps et deux mouvements. Toutefois nos observations de ces dernières années nous tracent le chemin par où il nous faut passer. Comme tous les phénomènes biologiques, les effets des bois raméaux sur le sol sont à la fois simples et extrêmement compliqués. Nous avons l'intime conviction que nous touchons ici à un ensemble de processus vitaux d'une extrême importance écologique.

Dans les années qui viennent nous pensons- que les bois raméaux serviront à rééquilibrer les sols dégradés en permettant de refaire des équilibres de vie à tous les niveaux trophiques du sol. L'étude de ces mécanismes est susceptible de modifier notre perception de ce que sont les engrais chimiques, à quoi servent et comment agissent les pesticides de tous acabits, etc... Nous avons donc pour la première fois un matériau d'INGÉNIERIE susceptible de modifier des écosystèmes d'en arrêter la dégradation et de refaire de nouveaux équilibres -vitaux en toute connaissance de cause.

L'utilisation des bois raméaux et la connaissance des mécanismes de transformation est un apport également à la connaissance de ce qui est convenu d'appeler les cultures biologiques. Il y a également ici un espoir non négligeable au niveau des cultures tropicales et des problèmes causés aux sols. Le rééquilibrage des sols aurait sans doute un impact social immense, tant sur la productivité que sur la santé, puisqu'un grand nombre de parasites et de maladies prennent naissance dans les sols. Enfin l'utilisation du bois raméal en foresterie dans l'exploitation de la ressource, aussi bien que dans les techniques sylvicoles d'aménagement, est susceptible non seulement d'améliorer la productivité et la qualité des bois, mais également de réconcilier en partie les aménagistes avec l'industrie et les écologistes.

BIBLIOGRAPHIE

- Ahlgren. C.E. & Ahlgren I.F. (1981), "Some effects of different forest litters on seed germination and growth". Can. Journ. For. Res. vol.11 no.3 pp.710-714.
- Anstett. Alfred (1959). "Sur la variabilité de la hiérarchie des caractéristiques des substances destinées à être compostées et en conséquence celles des facteurs d'humification. Académie d'Agriculture de France procès-verbal de la séance du 8 avril 1959.
- Binggeli. F (1982) "Compte-rendu d'essais agronomiques: méthode Jean Pain". Braud-Rencontre, dossiers, pp.28-47. Bordeaux, France.
- Dubé. A. (1984), "Effets de l'incorporation au sol de résidus d'émondage d'arbres et de lisier de porc". Ministère de l'Agriculture, Québec: rapport d'activité pp. 44-48.
- Dunnigan. J (1985) "Épandage de copeaux d'aulne rugueux dans une érablière". Faculté de Foresterie et de Géodésie, Université Laval, Québec, 26 pages.
- Ehnström. B. (1984) "Stumps and Invertebrates: many species are threatened". Forest Energy in Sweden, Sweedish University of Agricultural Sciences pp. 106-107.
- Guay. E., Lachance. L. & Lapointe. R.A. (1981) "Observations sur l'emploi des résidus forestiers et des lisiers en agriculture". Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec 25 pages.
- Guay. E., Lachance. L. & Lapointe R.A. (1981) "Observations sur l'emploi de résidus forestiers chez trois agriculteurs, Carrier, Fournier et Marcoux". Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, Rapport Technique no.1, 34 pages.
- Guay. E., Lachance. L. & Lapointe. R.A. (1982). "Observations sur l'emploi de résidus forestiers chez trois agriculteurs, Carrier, Fournier et Marcoux". Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, Rapport Technique no.2, 41 pages.
- Kozlowski. T. & Winget. C.N. (1964) "The role of reserves in leaves, branches, stems, and roots on shoots growth of Red Pine" Amer. Journ. Bot. vol. 52 n o. 5 pp. 522-529.
- Lemieux. Gilles (1985) "Actes du colloque d'évaluation sur les bois raméaux fragmentés." Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la Sylviculture, Québec, 53 pages.

Lemieux, Gilles L1986), " Essais d'induction de la végétation forestière vasculaire par le bois raméal fragmenté" Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la Sylviculture, 109 pages.

Melin. E. (1985), "Biological decomposition of some types of litter from North American Forests". Ecology vol 11 no.1 pp. 72-101.

Nykvist.N. (1963) "Leaching and decomposition of water-soluble organic substances from different types of leaf and needle litter". Studia Forestalia Suecica no.3 pp.435-446.

Raibaud. P, & Ducluzeau. R. (1984) "Flore intestinale sur mesures pour animaux d'élevage". Science et Vie no.800 pp.112-114.

Roberge. M.R. (1985), "Usage des copeaux de bois en pépinière: effets sur le sol". Service Canadien des Forêts, Centre de Recherches Forestières des Laurentides, Québec 14 pages.

Tremblay. Yvon (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, Québec, 8 pages.

Wolium. A.G. & Davey. C.B. (1975) "Nitrogen accumulation, transformation and transport in forest soils." in Forest Soils and Forest Land Management, Université Laval, Québec, pp 67-103.