

« LE BOIS RAMÉAL FRAGMENTÉ : LA CLÉ DE LA FERTILITÉ DURABLE DU SOL »

par

G. Lemieux¹ & D. Germain²

¹Professeur au Département des Sciences du bois et de la forêt
Faculté de foresterie et de géomatique
Université Laval
Québec (Québec)
Canada, G1K 7P4

Tél. : (418) 656-2131, extension 2837
Gilles.Lemieux@sbf.ulaval.ca

²Hydrogéochem Environnement,
1184, avenue Cartier, bureau 1
Québec (Québec)
Canada, G1R 2S7

Tél. : (418) 647-6814
Diane.Germain@hydrogeochem.qc.ca

Publication n° 129

janvier 2001

2^e édition, mars 2002

édité par le
Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

Université Laval
Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Québec (Québec)
Canada G1K 7P4

AVANT-PROPOS

La présente publication a été rédigée à la demande même de la Banque Interaméricaine de Développement, Washington, USA. Dans le but de répondre correctement à cette demande, la Dre Germain et moi avons fait un effort particulier pour mettre la technologie des BRF en lumière par comparaison avec l'utilisation de fertilisants d'origine chimique et les composts au regard des résultats obtenus.

Cette publication a été rédigée dans le but d'obtenir le financement d'un nouveau projet en Amérique Centrale, où les femmes se situent au centre de nos préoccupations. Ces commentaires ont pour but de bien illustrer nos soucis et les buts que nous désirons atteindre.

Professeur Gilles Lemieux
Université Laval
Janvier 2001

Table des matières

Raison d'être et objectifs du projet	1
La compétition pour l'eau	3
Le sol est un milieu fragile	4
La contribution de la forêt à la constitution des sols	5
L'étude des bois raméaux.....	7
Quelques observations.....	7
Les projets en cours	8
Fertilisants chimiques, composts et BRF: avantages et inconvénients	9
Les BRF.....	12
Une formation agricole.....	13
L'implication des femmes.....	13
L'utilisation de la technologie des BRF.....	15
Les essences, la récolte et les dimensions à respecter	15
La fragmentation	16
Un peu de litière forestière	18
Les impacts environnementaux et sociaux	18
Les impacts environnementaux	18
Une nouvelle catégorie d'améliorants du sol: les AGGRADEURS	19
Les impacts sociaux.....	20
Le groupe de recherche	20
Le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux (GCBR).....	20
Hydrogéochim Environnement.....	22
Bibliographie	23

Raison d'être et objectifs du projet

Près de 40% des sols agricoles du monde sont sérieusement dégradés. Ceci mine les possibilités de production à long terme de ces sols. D'autre part, les impacts sociaux et économiques causés par la dégradation continue des sols arables sont bien plus importants dans les pays en voie de développement que dans les pays industrialisés. Il n'en reste pas moins que, dans ces pays, la demande de produits alimentaires est croissante alors que le potentiel de production est le plus précaire.

Selon **Gardner & Halweil (2000)**, 80% de la production alimentaire est assurée par les femmes tant en Afrique, en Amérique latine qu'en Asie. Encore aujourd'hui, les femmes n'ont que très peu accès à la propriété du sol, au crédit financier, à la connaissance des techniques agricoles, à l'éducation, tout comme aux privilèges sociaux en général.

Le projet que nous présentons peut, en bonne partie apporter des solutions à un grand nombre de problèmes soulevés par le développement des pays en voie de l'être. L'axe principal de ce projet est de permettre la mise en oeuvre d'une nouvelle technologie en utilisant le bois des rameaux appelé **BRF** (Bois Raméal Fragmenté) qui permettent l'établissement de sols fertiles et durables en introduisant tous les mécanismes propres à la pédogenèse. Cette introduction et sa mise en oeuvre nécessite un apprentissage de cette nouvelle technologie agricole par toutes les femmes intéressées.

Le deuxième but est de rendre cette nouvelle technologie accessible aux agriculteurs dans les essais qui seront sous la responsabilité de techniciens agricoles.

Le troisième volet du projet est de confier à des scientifiques ou à des groupes de scientifiques la mission d'assurer une coopération de tous les instants avec les techniciens.

La dégradation des sols met en danger la capacité de production alimentaire du monde.

(de l'Institut International de Recherche en Politique Alimentaire, 2000¹)

«Près de 40% des sols agricoles du monde sont sérieusement dégradés. Ceci est susceptible de mettre en danger leur capacité de produire à long terme. C'est l'opinion émise par les scientifiques de l'IFPRI qui viennent de terminer une étude cartographique la plus détaillée à ce jour, portant sur les aspects globaux de l'agriculture.»

L'impact socio-économique de la dégradation des sols agricoles est bien plus important dans les pays en voie de développement, selon Ismaïl Serageldin, vice-président de la Banque Mondiale pour le Développement et président du CGIAR, l'un des 16 centres de recherche de l'IFPRI: Il souligne également que *«Ce sont précisément les régions où la demande de produits alimentaires est la plus sollicitée et celles où tout indique que la croissance sera la plus difficile»*.

«Arrêter le déclin des systèmes vitaux sur notre planète est le défi le plus colossal pour l'humanité» selon Jonathan Lash, président de l'Institut Mondial des Ressources². D'après le Dr Per Pinstrup-Andersen, directeur général de l'Institut International de Recherche en Politique Alimentaire³, *ces menaces à la capacité de production alimentaire mondiale forment un ensemble de trois ordres:*

- *La population mondiale s'accroîtra de plus de 1,5 milliard d'ici 2020, principalement dans les pays les plus pauvres;*
- *De manière générale, la fertilité naturelle des sols décline;*
- *Il est de plus en plus difficile de trouver de nouvelles terres productives pour pratiquer l'agriculture.*

La dégradation du sol, incluant l'érosion et la perte de nutriments, est en train de détruire, à long terme, la capacité d'un grand nombre de systèmes agricoles. L'une des pratiques les plus courantes est l'application de fertilisants chimiques en

¹IFPRI (2000) «Global Study Reveals New Warning Signals: Degraded Agricultural Lands Threaten World's Food Production capacity» in Publication no. 123, Université Laval, Québec, Canada

²En anglais World Resources Institute

³En anglais International Food Policy Research Institute (IFPRI)
Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux
Département des Sciences du Bois e de la Forêt
Université Laval, Québec, Canada

vue de maintenir la productivité des systèmes agricoles, tels l'azote, le phosphore et le potassium, ou par l'application de fumiers. Peu de travaux portent sur l'«extraction des nutriments» par les récoltes et trop sur le lessivage des nutriments, contaminant ainsi que les eaux de surface et la nappe phréatique.

L'expansion sans précédent de l'agriculture et son intensification soulèvent une inquiétude générale sur la capacité de production de plusieurs agroécosystèmes. Se peut-il que des technologies et des apports de fertilisants puissent dissimuler la diminution de fertilité des sols et des ressources en eaux douces? Avec une baisse de fertilité des sols et une raréfaction de l'eau, que sera l'impact sur les prix des aliments?

La compétition pour l'eau

Bientôt la compétition pour l'eau va accroître les contraintes à l'égard de la production alimentaire. Selon Sandra Postel du Projet Global de la Politique de l'Eau «*déjà 40% de l'alimentation mondiale provient de 17% des terres agricoles irriguées*» De tous les dangers qui caractérisent les cultures irriguées, aucune n'est plus importante que la dégradation des ressources en eau de la nappe souterraine. Dans les faits, la sur-utilisation des nappes aquifères en Chine, en Inde, en Afrique du Nord, en Arabie Saoudite et aux États-Unis dépasse les 160 milliards de tonnes d'eau par année. En gros, il faut 1000 tonnes d'eau pour produire une tonne de céréales, ce qui est l'équivalent de 160 millions de tonnes de céréales, soit la moitié de la production des USA.

C'est en Inde que se trouve la nappe aquifère la plus déficitaire avec 104 milliards de mètres cubes, puis en Chine avec 30 milliards de mètres cubes annuellement. En Inde, où près de la moitié des enfants sont maigres et sous-alimentés, une faible récolte peut causer une l'augmentation du taux de morbidité. Pour sa part, David Seckler, directeur général de l'Institut International de la Gestion des Eaux au Sri Lanka, estime que le quart de la production céréalière de l'Inde est menacée par la dégradation des nappes aquifères. Les plaines du nord de la Chine où l'on produit 40% de toute la production céréalière, la nappe phréatique baisse au rythme de 1,6 mètre annuellement. À cause de la dégradation des nappes aquifères et du détournement de l'eau des villes, l'eau

destinée à l'irrigation est de moins en moins disponible et la Chine se verra bientôt forcée d'importer tellement de céréales à un niveau tel que le marché international en sera déstabilisé (Brown, 2000).

En résumé, nous sommes en face de deux problèmes gigantesques: la dégradation des sols et la raréfaction de l'eau et de sa qualité.

Le sol est un milieu fragile

Ce qui caractérise le plus les sols agricoles ou forestiers, c'est qu'ils intègrent la vie au monde minéral. C'est le processus fondamental largement ignoré jusqu'à tout récemment et qui est la BIOTRANSFORMATION des matières organiques dans le sol où la lignine du type syringyl (un des millions de polyphénols) joue un rôle essentiel, tout comme un grand nombre d'autres composés polyphénoliques (Stevanovic-Janezic). Cette **biotransformation** n'est que le début d'un long processus lié à la formation du sol, ce qui à toute fin utile en régule la vie, contrôle la mise en disponibilité des nutriments et la structure physique du sol. Elle influence directement la résistance à l'érosion, stimule et protège à la fois différentes phases de la vie animale, bactérienne et fongique, les principaux responsables vivants de la PÉDOGENÈSE.

C'est ainsi que le sol, ressource exceptionnelle, peut demeurer stable et fertile à la condition que les éléments mentionnés demeurent actifs comme les lignines et les différents composés issus de la **biotransformation** des tissus organiques. Ils sont responsables du maintien de la biodiversité, tout comme de la structure physique du sol grâce aux processus dynamiques d'origine biologique.

Les caractéristiques chimiques et biochimiques du sol ne sont pas suffisamment prises en compte et le plus souvent oubliées. C'est la biologie qui trace les limites de la réalité et des capacités du sol. C'est pourquoi cette ignorance devient la cause de sa dégradation. Ce sont ces caractéristiques biologiques qui régissent en particulier la disponibilité de l'azote et du phosphore. Il en va de même pour l'économie et la disponibilité de l'eau et la régulation du cycle du carbone. La vie de milliards de personnes sur la planète que nous habitons

dépend de cette singulière ressource qu'est le sol et non pas sur la productivité végétale comme on pourrait le croire de prime abord.

La contribution de la forêt à la constitution des sols

C'est la forêt qui joue le rôle principal dans la formation des sols fertiles. La majorité des terres les plus fertiles vouées à l'agriculture sont d'origine forestière. Pourquoi ne pas nous référer au modèle forestier qui nous a donné des sols agricoles fertiles? De nombreuses études faites par le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, sous la responsabilité du Professeur Lemieux de l'Université Laval, Québec, Canada montrent que les caractères des sols forestiers peuvent être transmis aux sols agricoles comme une stabilité de la fertilité et de hauts niveaux de productivité végétale (Lemieux, G. & Lachance, L. 2000)

L'un des principaux caractères des sols forestiers tient à sa structure où les composés polyphénoliques, par la structure des cycles benzéniques, contiennent de grandes quantités d'énergie plus ou moins disponibles. Les sous-produits de l'activité métabolique et biochimique se retrouvent sous forme d'énergie et de nutriments. Toutefois, c'est dans les rameaux que les éléments les plus précieux sont présents, soient les parties qui portent les feuilles et les bourgeons et, dans plusieurs cas, les fruits. **En retournant au sol le "bois raméal fragmentés" riche en énergie et ayant subi une biotransformation il peut renouveler, réhabiliter et reconstruire les sols dégradés, puisque dans ce matériau, on retrouve tous les mécanismes potentiels pertinents au rétablissement de la fertilité, ce qu'aucune autre technologie moderne n'a réussi à démontrer à ce jour.**

Ce qu'est le bois raméal fragmenté.

Les BRF n'ont rien en commun avec la traditionnelle «matière organique» comme les composts à titre d'exemple. L'apport des BRF a un impact à court, moyen et long terme sur la structure globale du sol, son métabolisme et sa biologie. Les composantes du sol qui sont d'ordre minéral, chimique, biochimique, biologique et énergétique, sont intégrés à la vie des microorganismes, permettant aussi la mise en disponibilité des nutriments à la demande des plantes, tout en respectant le rôle primordial des fungus plutôt celui des bactéries.

Les BRF sont constitués de trois parties, les branches, les rameaux et les feuilles et ils sont riches en sucres, protéines, celluloses et lignines. Tous ces éléments jouent un rôle très précis dans la formation et le maintien d'un sol fertile. Ce n'est pas le cas des écorces, du bois de tronc, des sciures, des copeaux de rabotage ou de tout autre résidu d'origine industrielle, etc.

On doit aux BRF la durabilité et la stabilité d'un sol parce qu'ils contribuent au maintien de sa structure et de ses principales caractéristiques biologiques. Du même coup, les BRF contribuent à la biodiversité en régulant tous les facteurs, et en agissant sur la source d'énergie résistante à la dégradation que sont les polyphénols. Dans ce cas, ce sont les lignines syringyl et gaïacyl qui sont les plus importantes. Ainsi, la fertilité peut être décrite comme étant l'efficacité de tous les paramètres du sol à contribuer à la mise en disponibilité de façon parcimonieuse à la demande des plantes pendant une longue période.

Nous ne comprenons pas encore entièrement toutes les subtilités du comportement des BRF dans un sol, pas plus que nous en contrôlons l'optimisation de leurs effets. Néanmoins, comme la plupart des travaux de recherche portent sur les nutriments et leur disponibilité comme l'azote et le phosphore, la connaissance et l'implication des polyphénols apparaissent de plus en plus comme primordiales. Bien que peu étudiées, plusieurs enzymes sont connues pour leur rôle important dans la biotransformation. La fraction lignine du bois, tant gaïacyl que syringyl, -deux importants polyphénols- de même que les tannins condensés (proanthocyanidines) jouent un rôle vital dans la formation du sol. Ces polyphénols s'associent aux champignons Basidiomycètes qui simultanément libèrent des enzymes. Ces Basidiomycètes produisent à la fois des enzymes et deviennent une source alimentaire pour la microfaune fongivore d'arthropodes. En broutant le mycélium de ces champignons, les arthropodes contribuent à la dynamique de la pédogenèse. Sous l'impulsion des lignoperoxydases dépendantes du manganèse, il y a production d'acides fulviques et humiques. Il y a donc un effort conjoint de la biochimie et de la microbiologie tout comme du monde animal où les nutriments et l'énergie s'unissent dans un processus de contrôle dynamique. On doit souligner le rôle secondaire des polysaccharides extracellulaires (PEC) qui lient les particules humiques et minérales pour former les agrégats, à la base de la structure fertile du sol. Toutefois, ces agrégats sont métabolisés à leur tour par la

flore bactérienne qui utilise ces PEC comme source alimentaire, tout en dégradant à nouveau le sol. Ainsi, la structure du sol est également liée aux sucres, celluloses, protéines, lignines, où les arthropodes, les bactéries et les champignons jouent un rôle majeur.

L'ensemble de l'agriculture, cultures maraîchères comprises, dépend de la fertilité du sol sans quoi les récoltes de qualité et les hauts rendements ne peuvent se concrétiser. Les rendements ont toujours été le moyen de mesurer les intrants dans notre approche industrielle tout au long du 20^{ième} siècle. La technologie des BRF nécessite une approche intégrée de tous les facteurs, aussi bien physiques, chimiques, biochimiques que biologiques. Ceci permet d'obtenir des rendements optimaux et une production alimentaire de qualité, nécessitant peu d'intrants, tout en assurant une importante économie de l'eau.

L'étude des bois raméaux

Quelques observations

Depuis le début des années '80, plusieurs études canadiennes ont permis de mettre au point la technologie des BRF aussi bien en agriculture qu'en foresterie. Maintenant, des recherches se poursuivent au Sénégal, à Madagascar, en Ukraine et en République Dominicaine. Ces recherches ont révélé les faits suivants:

- Une économie appréciable de l'eau et une production par les processus biologiques et chimiques dans d'une «gestion de l'eau» par les organismes du sol. Des études plus spécifiques seront proposées dans le projet sénégalais, financé par le Fonds Compétitif de la Banque Mondiale, grâce à une initiative de l'ACDI et du CRDI.
- Une augmentation de la biomasse des tomates de l'ordre de 1000% au Sénégal et de 300% dans le cas des fraises au Canada. La production du maïs a augmenté de 400% dans des essais en Côte d'Ivoire et en République Dominicaine. Au Canada, l'augmentation de la teneur en matière sèche des pommes de terre a été de l'ordre de 30% et la qualité des tubercules s'est manifestée par une meilleure conservation.

- Une réduction de la prédation par des pathogènes comme des nématodes parasites du système racinaire des Solanacées, l'un des pires ennemis des cultures maraîchères sous les tropiques.
- Une augmentation remarquable de la résistance des cultures à la sécheresse.
- Une amélioration remarquable des qualités organoleptiques des fruits et légumes.
- Une augmentation de la valeur du pH de 0,4 à 1,2 dans les sols acides et une diminution de 2,0 dans le cas des sols alcalins.
- Une diminution de la conductivité dans les sols salés ou saumâtres.
- Une augmentation de la production de phosphatases, acides ou alcalines selon les cas, permettant d'avoir accès au phosphore inaccessible autrement.

Les projets en cours

Le projet le plus important en voie de réalisation touche la mise en production de cultures maraîchères au Sénégal au coût de 2,5 millions de dollars canadiens. Il est financé par des capitaux canadiens versés par l'intermédiaire de la Banque Mondiale, dans le cadre de son fond compétitif portant sur la fertilité des sols. En plus de ce grand projet, plusieurs autres sont en cours portant sur des cultures légumières, florales et autres. Il en va de même depuis 1996 en Ukraine, pour un projet important financé par le CRDI et qui porte sur les cultures de pomme de terre et de seigle. Certains projets sont toujours actifs depuis plus de 16 années et les données recueillies sont fort intéressantes en regard des mécanismes de durabilité. Normalement, des applications de BRF variant de 25 à 50 m³/ha sont nécessaires tous les trois ans.

En Ukraine, on utilise cette technologie pour améliorer des sols dégradés destinés à des productions céréalières. Les résultats obtenus sont si probants que deux fragmenteuses seront expédiées en Ukraine prochainement. Une nouvelle société canadienne internationale vient d'être mise sur pied pour la fabrication de fragmenteuses spécialisées et destinées à la production de BRF.

Fertilisants chimiques, composts et BRF: avantages et inconvénients

Les fertilisants chimiques de synthèse ou d'origine minérale sont d'usage courant pour améliorer le rendement des cultures. Dans le cas des États-Unis, à titre d'exemple (AAPFCO,1997) en 1996. 54 000 000 de tonnes ont été épandues sur les sols agricoles. Les fertilisants de base (N P K) représentaient 91% du total, alors que les amendements secondaires, comme le calcium, le magnésium et le soufre, ne comptaient que pour 8% du total et les amendements et fertilisants organiques pour 1%. Une attention spéciale doit être apportée quand on compare ces deux catégories par rapport aux BRF.

Les fertilisants chimiques (d'après l'EPA, 1999a)

Avantages

- L'application intensive de tels fertilisants de par le monde tiennent surtout compte de leur efficacité à libérer rapidement les éléments fertilisants et à augmenter les récoltes à court terme. Toutefois, le contrecoup de cette action immédiate, est la contamination possible de la nappe phréatique.

Inconvénients

- Les excès d'azote ont pour effet de polluer tous les agroécosystèmes et d'accélérer le fonctionnement écologique des communautés vivantes. L'azote est perçu comme le principal élément responsable de la biodiversité selon une étude faite par 19 hommes de science (Science mars 2000).
- Les fertilisants chimiques tels l'azote, le phosphore et le potassium utilisés en agriculture contaminent à la fois la nappe phréatique et les eaux de ruissellement. En réalité, l'azote, mis en solution sous la forme de nitrate, (NO_3^-), représente le contaminant le plus souvent identifié dans la nappe phréatique. L'activité humaine a doublé le volume d'azote circulant entre le monde vivant, l'eau et l'atmosphère à un taux qui ne cesse de s'accroître.
- La persistance dans le sol des fertilisants azotés contribue à son acidification et à la perte d'éléments dits «mineurs» et la libération de métaux lourds.

- Ce sont les bactéries du sol qui génèrent des oxydes nitreux à partir des fertilisants. Cependant la concentration de ce gaz est faible. Il contribue quand même à la destruction de l'ozone dans la stratosphère et à l'effet de serre dans la troposphère. Aux États Unis en 1997, l'utilisation de fertilisants azotés de synthèse et de fertilisants organiques a contribué à 36% de toutes les émissions d'oxyde nitreux (N₂O). Cet oxyde nitreux est 310 fois plus efficace que le CO₂ pour maintenir l'effet de serre sur une base moléculaire. La presque totalité de la production naturelle de N₂O est causée par la flore bactérienne du sol. Il va de soi que cette production est grandement accrue par l'application de fertilisants azotés de synthèse et tous autres fertilisants organiques utilisés. D'après le Groupe Intergouvernemental sur les Changements Climatiques, tous les facteurs étant égaux par ailleurs, l'augmentation des émissions de N₂O est égal à l'augmentation de l'application d'azote de synthèse.

Ceci indique qu'en limitant l'utilisation de fertilisants chimiques, nous diminuons également les pertes d'azote dans l'environnement par lessivage ou émission de gaz à effets de serre.

Fertilisants organiques (d'après l'EPA, 1997 et 1999b)

Avantages

- Le compostage est une technique valable et utilisée pour augmenter les rendements par les producteurs qui s'orientent vers une agriculture durable. Les producteurs agricoles ont appris, au fil des ans, qu'un sol enrichi au compost pouvait réduire la concurrence des mauvaises herbes, maladies ou insectes. Cet effet bénéfique a un impact économique positif qu'on ne peut sous-estimer car il réduit les intrants, tout en protégeant la ressource sol.
- Le compost contribue à la rétention de l'eau, à l'aération du sol, à la stabilité de sa structure, à la résistance à l'érosion hydrique et éolienne, ainsi qu'à la pénétration des racines et à la stabilisation de la température du sol.
- Il en va de même pour les nutriments et leur mise en disponibilité pour les plantes tout comme pour la stabilité du pH.
- En outre, le compost favorise l'activité biologique dans les sols en réduisant les parasites tout en facilitant le développement du système racinaire et l'obtention de rendements élevés des productions agricoles.

- Comme le compost améliore la capacité de rétention de l'eau au sol et rend l'azote utilisable par les plantes, son utilisation réduit donc les sources de pollution à l'encontre des fertilisants chimiques.
- Le compost réduit de beaucoup la dépendance aux biocides comme les herbicides, les insecticides et les fongicides car il favorise un environnement édaphique riche en substances organiques. C'est dans un tel milieu que se trouvent les microorganismes bénéfiques qui soutiennent la compétition d'organismes pathogènes qu'on retrouve dans les sols pauvres en substances organiques.
- Des apports répétés de compost réduisent l'érosion tant éolienne qu'hydrique, tout en améliorant la stabilité du sol.

Inconvénients (d'après l'EPAE, 1998, 1999b)

- L'une des principales difficultés du compost est le temps nécessaire à sa maturation. Pendant 12 années, à la Station Expérimentale Agricole du Connecticut (USA), on a comparé des parcelles amendées au compost. à des parcelles ayant reçu des fertilisants chimiques. On a constaté qu'après une période de 4 à 5 années, la relaxation des nutriments atteignait son équilibre.
- L'efficacité des différents composts est très variable.
- Il y a également de grandes variations, d'année en année, avec certains composts mais pas avec tous.
- Utilisés comme moyen biologique de contrôle, les composts n'ont pas la même efficacité que les produits chimiques de synthèse. Cela est probablement dû aux interactions avec le milieu. Ces conditions changeantes modifient la susceptibilité de plantes ou sont capables d'induire un changement du potentiel infectieux des organismes pathogènes.
- Les composts nécessitent une application annuelle.

Concernant les productions annuelles, la "*matière organique*" a toujours été perçue comme un nutriment immédiatement assimilable par les plantes. Toutefois, un grand nombre d'exemples ont montré que l'apport au sol de substances fécales

ou de résidus industriels comme source de nutriments n'ont fait que susciter l'attaque de la flore bactérienne tant sur les "*matière organiques*" que sur le bois grâce à l'enzyme qu'est la laccase. Dans ce cas, la biotransformation peut se faire rapidement mais sans augmenter ou maintenir la fertilité à longue échéance, tout en contribuant à l'effet de serre par la libération de CO₂.

Les BRF

Avantages

- **Le plus grand avantage de cette technologie réside dans le fait que la régénération du sol à tous les points de vue s'effectue d'une façon naturelle.** Ainsi, cette nouvelle technologie ne nécessite aucun apport d'azote supplémentaire.
- Cette technologie fait appel au potentiel énergétique du sol par le biais des polyphénols.
- C'est dans le processus de biotransformation que cette technologie s'inscrit et elle n'a rien de commun avec la «décomposition de la matière organique». C'est ce processus qui régule la disponibilité des nutriments, la structure physique du sol et sa résistance à l'érosion. Avant tout, cette biotransformation stimule et contrôle les diverses phases de la vie animale du sol qui, avec les flores bactériennes et fongiques, sont les facteurs, sur la scène biologique, de loin les plus importants dans la formation et le maintien des qualités du sol et de sa fertilité.
- Tout comme les composts, les BRF contribuent à augmenter la capacité de la rétention de l'eau du sol et à fixer et libérer l'azote selon les besoins des plantes tout en réduisant les sources de pollution.
- Les BRF peuvent réduire la dépendance des cultures aux divers biocides en établissant un équilibre microbologique dans la gestion des nutriments dans le milieu.
- L'application de BRF au sol ne suscite pas la mise en solution de contamination aux métaux lourds.

- La présence de lignines et de nombreux dérivés polyphénoliques assure la stabilité de la qualité du sol.
- La pérennité d'un sol fertile est assurée à un coût peu élevé, par la culture à proximité d'arbres et d'arbustes qui assureront les BRF nécessaires à des applications subséquentes.

Inconvénients

- La biotransformation des BRF, à l'aide des champignons, prend plusieurs mois en climat tempéré, mais elle est bien plus rapide sous les climats tropicaux.

En résumé, l'utilisation de produits chimiques résiduels de l'industrie ne contribue en rien à la formation des sols ni à une fertilité à long terme. Le sol qui nourrit le monde est donc en dégradation constante. La technologie des BRF est donc capable d'apporter une source énergétique comme celle des polyphénols, selon les besoins de la plante par l'activité biologique des champignons. Le résultat est la formation et le maintien d'un sol fertile et durable qui ne peut se concevoir sans la technologie des BRF.

Une formation agricole

L'implication des femmes

Selon la FAO, près de la moitié de la production mondiale d'aliments est le fruit du travail de femmes en milieu rural en Afrique, en Amérique latine et en Asie où elle atteint presque 80% du total. Encore aujourd'hui les femmes n'ont que peu accès à la propriété de la terre, à la formation agricole, au crédit, à l'éducation et aux privilèges sociaux en général. Ceci rend impérieux l'implication des Sciences Sociales et en particulier l'apport de l'Anthropologie.

Plus encore, les femmes des pays en voie de développement investissent tous leurs revenus pour assurer l'alimentation familiale et les autres besoins

essentiels, alors que les hommes économisent près du quart de leurs revenus. Les femmes souffrent de la faim, élèvent des enfants mal nourris et privés de l'essentiel. Ces conditions se retrouvent d'une génération à l'autre en perpétuant la faim. Les sociétés qui abandonnent les femmes à la pauvreté se privent ainsi d'une arme essentielle contre la malnutrition (Gardner & Halweil, 2000).

Nous en déduisons que la formation agricole est indispensable pour que la technologie des BRF soit prise en charge par les femmes des régions rurales.

La mise en oeuvre

Des techniciennes et des techniciens bien formés par le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux seront à leur tour responsables localement de la formation agricole.

Ces mêmes techniciens se verront chargés de la mise en marché des produits maraîchers dans tous les villages impliqués dans le projet. Une petite exploitation maraîchère «modèle» sera la référence pour les paysans.

L'implication de scientifiques locaux ou de groupes de scientifiques est nécessaire pour soutenir le développement de la technologie des BRF, avec l'aide des techniciens agricoles locaux.

L'utilisation de la technologie des BRF

Les essences, la récolte et les dimensions à respecter

Plusieurs essences forestières ont été étudiées et, ici comme en Ukraine, les meilleures essences étaient des essences dominantes et climaciques comme l'érables à sucre, le chêne rouge, le hêtre.... qui ont un contenu en lignines élevé. Des essences intermédiaires comme les peupliers, trembles et bouleaux ont été moins efficaces. Dans l'hémisphère nord, les conifères naturellement ne donnent pas de bons sols agricoles. Nos essais avec les pins, épicéas et sapins ont révélé que leur contribution aux BRF ne devait pas dépasser 20% du total.

En climat tempéré, le meilleur temps pour la récolte des BRF se situe entre octobre et mars, alors que l'accès à la ressource est possible. C'est dans cette période que les BRF de feuillus climaciques ont été prélevés lors des premiers essais. Non seulement cette période est propice à la récolte, mais à cause des basses températures la qualité du matériau broyé est excellente et l'on évite les altérations biologiques par un début de compostage.

Il en va tout autrement sous les conditions tropicales car la ressource n'est accessible qu'au moment où les polyphénols hydrolysables dans les rameaux sont les plus importants à la fin de la saison des pluies. C'est alors que la biotransformation peut s'effectuer. À l'inverse, la présence de polyphénols peu hydrolysables durant la saison sèche n'est pas favorable au processus de biotransformation et bloque tous les mécanismes propres à la **pédogenèse**. Toutefois, la période sèche peut être l'occasion de prélever des quantités raisonnables de BRF et de les conserver en bon état et les utiliser plus tard en mélange.

Toutefois, dans les nouveaux projets, les essences locales n'ont pas été testées. Des essais préliminaires au champ devront être faits pour mesurer la valeur de chaque essence ou mélange d'essences. En pratique, il est possible de s'en tenir aux essences climaciques dominantes. Ce faisant, les BRF seront associés à la biodiversité et aux productions végétales les plus importantes. Les

mélanges de diverses essences forestières dans la composition des BRF vont améliorer le sol à court, moyen et long terme.

Le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux recommande que seuls les rameaux ayant moins de 7 cm de diamètre soient utilisés dans cette technologie, et que la dimension des copeaux varie de 5 à 10cm Ceci évite, entre autre, le conflit potentiel d'utilisation comme bois de chauffe. Sous nos conditions de climat tempéré, les BRF sont toujours récoltés en période de dormance à l'automne ou à l'hiver, donc sans feuilles, ce qui n'exclut pas certains prélèvements en pleine saison de croissance. Il en va autrement sous les tropiques où la majorité des essences conservent leurs feuilles toute l'année; leur présence évite les risques de graves déficiences en zinc.

La fragmentation

C'est grâce à la fragmentation des rameaux que les Basidiomycètes peuvent amorcer le processus de biotransformation car les tissus étaient jusqu'alors protégés par les écorces. L'invasion des tissus par le mycélium des fungus est essentiel, faute de quoi ce sont les bactéries ou les Actinomycètes qui coloniseront le «terrain», interdisant l'accès aux Basidiomycètes. Ces derniers sont les seuls capables de produire les enzymes qui sont à la base de l'évolution biochimique des lignines dans le processus de biotransformation.

C'est ainsi que les BRF sont en mesure d'influencer l'ensemble des paramètres qui permettent la libération des nutriments selon la demande des plantes.

On peut fragmenter les rameaux de plusieurs manières différentes. Une nouvelle société canadienne à vocation internationale⁴ vient de mettre au point une fragmenteuse robuste et efficace adaptée à la production de BRF. Cette fragmenteuse est plus efficace que les grosses machines industrielles à moteurs diesel actuellement en usage. Les coûts d'achat, de maintenance et d'utilisation les rendent accessibles aux pays en voie de développement.

⁴Globulus International
Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux
Département des Sciences du Bois e de la Forêt
Université Laval, Québec, Canada

L'épandage et l'incorporation au sol

On peut facilement utiliser un épandeur à fumier et épandre à raison de 150m³/ha à l'automne ou en hiver selon les régions, ce qui donne une couche de 15mm d'épaisseur. Par la suite, on procède à l'enfouissement dans les premiers 10 cm du sol puisque les Basidiomycètes ne vivent que dans les parties superficielles du sol. L'incorporation au sol se fait de préférence par hersage avec une herse du type «chisel». Cette opération est de grande importance parce qu'elle met en contact les BRF avec les microorganismes du sol, d'où une importante incidence sur la production d'enzymes comme les phosphatases présentes dans la biomasse microbienne comme dans les BRF eux-mêmes. Une influence importante a été notée sur la disponibilité de l'azote, tant sous forme de nitrates que d'ammonium, de même que sur le rôle des mycorhizes par une inclusion dans les tissus mêmes en ce qui regarde la mise en disponibilité du phosphore. D'après Neher [1999], une bonne gestion du sol doit obligatoirement mener à un équilibre bactéries-fongus et ainsi réduire les besoins en fertilisants parce que le mécanisme de biotransformation est actif et la minéralisation des nutriments maintenue à un niveau soutenu et durable. Le sol ayant reçu correctement les BRF, doit être bien drainé, faute de quoi les mécanismes positifs de la biotransformation seront mis en échec tout comme les bénéfices attendus liés à la **pédogenèse**.

La technologie des BRF est intimement associée à la formation des sols et, de ce fait, a une action équivalente dans le temps. Ainsi, un apport régulier de BRF dans une optique semblable à l'apport de litière annuellement par la chute des feuilles et des ramilles en forêt. Il en va ainsi également de la métabolisation annuelle par la microfaune des petites racines des plantes. Un total de 75m³/ha de BRF devrait être appliqué à l'intérieur d'une période de 3 années.

Un peu de litière forestière

Depuis longtemps, il est reconnu que les sols agricoles sont dépourvus de Basidiomycètes et que les chaînes trophiques sont fortement réduites. Un grand nombre d'organismes édaphiques comme les fungus, les bactéries symbiotiques, les arthropodes, les insectes, etc., sont essentiels pour la biotransformation des BRF, mais ils sont souvent absents des terres agricoles où il faut les réintroduire. Un apport de 10 à 20 g au mètre carré de litière forestière suffit à réintroduire ces organismes. Cette litière se trouve immédiatement sous le tapis de feuilles d'une forêt climacique et elle doit être appliquée avant l'épandage des BRF pour éviter la dessiccation.

Les impacts environnementaux et sociaux

Les impacts environnementaux

L'impact le plus significatif de la technologie des BRF réside dans le fait qu'elle agit dans le même sens que la nature dans la genèse des sols. En plus, cette technologie est la seule à faire usage total de l'énergie potentielle contenu dans les cycles benzéniques des polyphénols. ***Cette nouvelle technologie est, par voie de conséquence, la clé de la fertilité durable des sols.***

L'application de BRF se fait sans apport d'azote ni d'utilisation d'insecticides ou d'herbicides. Un apport d'azote peut mettre en danger la durabilité du sol en accélérant indûment la dégradation des polyphénols hydrolysables et des celluloses. Cela peut aussi modifier la structure des agrégats, leurs propriétés physico-chimiques et plus important encore, compromettre la minéralisation de l'azote. De plus, un excès d'azote peut susciter l'apparition d'une flore adventice dite nitrophile à cause de la présence de nitrites ou des sels ammoniacaux. Cette prolifération de mauvaises herbes peut nécessiter l'utilisation d'herbicides dans le but d'en limiter l'expansion et l'agressivité. Il en va de même pour les insecticides que ce déséquilibre peut exiger en provoquant d'importantes perturbations dans les populations de protozoaires (Neher, 1999) L'utilisation de BRF permet de reconstituer des équilibres entre les flores bactériennes et fongiques et ainsi

réduire de recourir aux fertilisants chimiques. Dans un tel système en équilibre, les organismes du sol contribuent à la minéralisation des nutriments par le biais des mécanismes propres à la biotransformation ainsi qu'à une fertilité durable. Ainsi, l'eau du sol n'est plus contaminée par des excès de nitrates en solution qui sont les polluants les plus importants. De plus, l'azote est reconnu comme l'un des cinq facteurs intervenant dans l'évolution de la biodiversité.

Cette nouvelle technologie est efficace et utilise moins d'eau et augmente la résistance des sols à la sécheresse. De ce fait, elle semble toute indiquée pour les régions sèches où les ressources hydriques sont souvent déficientes.

En apparence, le facteur le plus négatif serait d'utiliser comme BRF une matière pouvant servir à l'alimentation animale, comme celle des cerfs sous nos conditions climatiques. Il est évident qu'une gestion appropriée de cette ressource ne devrait pas perturber l'habitat de la faune. Cet impact se limite à la mise en place de cette technologie dans une région où les BRF pourraient provenir du lieu d'implantation des parcelles.

En résumé, les sols fertiles issus des interactions entre le sol et les bois raméaux peuvent soutenir et contribuer à la sécurité alimentaire, tout en réduisant la dégradation du sol et la contamination des eaux de surface.

Une nouvelle catégorie d'améliorants du sol: les AGGRADEURS

Compte tenu de leurs qualités exceptionnelles, les BRF doivent être placés dans une nouvelle catégorie car ils contribuent à régénérer et à construire de nouveaux sols, pour des besoins agricoles et forestiers. On ne peut pas assimiler les BRF à des FERTILISANTS, même s'ils peuvent contenir plusieurs nutriments, pas plus qu'à un AMENDEMENT connu comme «matière organique». La technologie des BRF nous permet d'entrer de plain-pied dans un nouveau monde d'interventions inconnu jusqu'ici et où les **AGGRADEURS** sont en mesure de contrer la dégradation des sols dans toutes les parties du monde. Avant tout, les **AGGRADEURS** apportent une source d'énergie constante permettant le développement d'une vie intense dans le sol, tout en contribuant à la structuration du sol, à la productivité des cultures et à la qualité des eaux de surface. Plus

important encore, cette technologie apporte une contribution majeure aux équilibres biochimiques responsables des facteurs biologiques et physiques propres à la fertilité du sol et à la dynamique des processus.

Les impacts sociaux

À cette technologie, s'ajoute une contribution sociale envers les femmes en charge des petites exploitations agricoles et de la manière suivante:

- en augmentant leurs revenus;
- en relevant leur statut social;
- en leur permettant d'acquérir, par les transferts de technologie, de meilleures connaissances en matière de productions alimentaires;
- en améliorant l'état de santé des familles en augmentant la quantité et la qualité des aliments.

Le groupe de recherche

Le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux (GCBR)

Les membres de ce groupe sont tous des chercheurs et appartiennent à des universités canadiennes ou à la fonction publique fédérale et provinciale. L'agence Canadienne de Développement International (ACDI) tout comme le Centre de Recherche en Développement International (CRDI), Ottawa, Canada contribuent au financement partiel des activités du groupe. L'expertise de ce groupe a été acquise au Canada, dans les Antilles, en Afrique et en Europe. Près de 130 publications sont à porter au crédit de ce groupe et elles sont en français, mais également en anglais, espagnol, allemand et récemment en russe.

Ce groupe de recherche a été formé au début des années 80 à l'Université Laval, Québec, Canada dans le but d'évaluer des résidus industriels dont les milliers de tonnes de rameaux fragmentés, une fois extraites les huiles essentielles. Les premières analyses chimiques de ces résidus de conifères ont

révélé des teneurs élevées en sucres, protéines, celluloses et de nombreux composés polyphénoliques où les lignines étaient insolites et abondantes.

C'est ainsi que des rameaux fragmentés de conifères et de feuillus ajoutés à des sols pauvres ont fourni des rendements inattendus et fort impressionnants dans des cultures de blé, d'avoine, de pommes de terre, de fraises, etc... C'est ainsi que des rameaux fragmentés ont eu un effet bénéfique sur le sol, la biodiversité et la régénération forestière.

Comme aucune mention de ce nouveau matériau et de ses propriétés n'a été faite dans la littérature scientifique, nous lui avons donné le nom de «**Bois Raméal Fragmenté**» en français, ou **BRF**, de «**Ramial Chipped Wood**» en anglais ou **RCW**, et de «**Madera Rameal Fragmentada**» en espagnol ou **MRF**.

Avec l'aide de l'ACDI au Canada, le GCBR a entrepris au Sénégal et en Côte d'Ivoire des essais qui ont donné des résultats supérieurs à ceux obtenus en climat tempéré. Par la suite, d'autres essais ont été faits dans les Antilles, en République Dominicaine et des augmentations de rendement des cultures de maïs, ont atteint les 400%. D'autres essais, en cours depuis 1996 en Ukraine sont financés par le CRDI. Tous les critères d'aggradation y ont été observés tout comme au Canada et en Afrique.

Après 20 ans de travaux, nous en venons à la conclusion que la technologie des BRF centrée sur les rameaux des arbres, lesquels n'ont aucune utilité reconnue même dans les pays les plus pauvres, apporte une contribution majeure à la connaissance des mécanismes pédogénétiques de réhabilitation des sols dégradés et au maintien de la biodiversité. C'est avant tout une technologie d'aggradation avec une influence remarquable au niveau de la fertilité des sols, de leur texture, du contrôle de la disponibilité des nutriments tout comme la qualité de l'eau, Ce sont là des caractéristiques remarquables alors que les sols agricoles subissent une dégradation rapide et importante que les forêts disparaissent à un rythme encore plus rapide tout autour du monde.

Nous nous préparons à la mise en place au Sénégal d'un important projet de recherche et de développement qui sera financé à la fois par l'ACDI et le CRDI par l'intermédiaire de la Banque Mondiale. Nos recherches porteront sur les

mécanismes pédogénétiques où nous croyons que les polyphénols contrôlent, à divers degrés, tous les aspects de la vie tellurienne, et plus encore, la production biologique d'eau disponible aux plantes à même les mécanismes de biotransformation.

Hydrogéochim Environnement

Cette société existe depuis 1996 et oeuvre dans le domaine de l'environnement. Elle est spécialisée en hydrogéologie, en géochimie et en simulation numérique.

Ses principales activités sont:

- la caractérisation des sols et des eaux pollués par des composés organiques ou inorganiques .
- l'élaboration de procédés pour la réhabilitation des sols contaminés et le traitement des eaux
- l'aménagement des ressources hydriques
- la simulation numérique des flux d'eau de surface et de la migration des contaminants.

Appui technique

Diane Germain possède une maîtrise et un doctorat en hydrogéologie du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Waterloo, Ontario, Canada et un baccalauréat en génie géologique de l'Université Laval, Québec, Canada. Elle a obtenu une bourse d'études post-doctorales du ministère français des Affaires Étrangères pour poursuivre ses recherches à l'École Nationale des Mines de Paris (1988-89)

Elle a occupé plusieurs postes tant dans les secteurs académiques et privés. Elle a été professeure suppléante au Département de Génie Chimique de l'Université Laval, consultante sous octrois de l'INRS-Géorressources, hydrogéologue et géochimiste chez Golder et Associés Ltée et, depuis 1996, elle est à la direction d'Hydrogéochim Environnement Inc.

Bibliographie

- Brown, L.R., Challenges of the New Century. In: State of the World 2000. Edited by Brown, Flavin and French. W.W. Norton & Co., p. 1-21.
- EPA, 1999a. Background Report on Fertilizer use, contaminants and regulations. EPA747-R-98-003, www.epa.gov
- EPA, 1999b. Organic Materials Management Strategies. EPA530-R-99-016 www.epa.gov
- EPA, 1997. Innovative Uses of Compost : Disease Control for Plants and Animals. EPA530-F-97-044, www.epa.gov
- EPA, 1998. An Analysis of Composting As an Environmental Remediation Technology. EPA530-R-98-008, www.epa.gov
- Gardner, G., Halweil, B., 2000. Nourishing the Underfed and Overfed. In: State of the World 2000. Edited by Brown, Flavin and French. W.W. Norton & Co., p. 59-78.
- International Food Policy Research Institute, 2000, *Global Study Reveals New Warning Signals: Degraded Agricultural Lands Threaten World's Food Production Capacity*. URL: <http://www.cgiar.org/ifpri/pressrel/052500.htm>.
- Lemieux, G., Lachance, L., 2000. Une tentative d'évaluation de la technologie BRF pour des fins maraîchères. Publication #120. Département des Sciences du bois et de la forêt, Faculté de Foresterie et de géomatique, Université Laval. 34 pages.
- Neher, D.A., 1999. Soil Community Composition and Ecosystem Processes. In: *Agroforestry Systems*, vol. 45, 159-185.
- Stevanovic-Janezic, T. 1998. L'étude de la chimie des polyphénols dans le bois raméal fragmenté (BRF). In: Lemieux, G., Lachance, L., Genest S., and Hamel, C. *La Technologie pédogénétique du bois raméal fragmenté (BRF), une source naturelle qui contribue à l'établissement et au maintien de la fertilité des sols au Sénégal et au Bénin*. CGBR, Laval University, Québec, Canada. Publication #99, pp. 65. ISBN 2-921728-46-x.
- The World Bank, 2000 «A proposal for Accelerating the Soil Fertility Initiatives and Establishment of a Core Fundig Mechanism» - «Proposition visant à susciter une initiative portant sur la fertilité des sols et la mise en place de mécanismes de financement (IFS)» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, publication n° 127, 13 pages.

oo