

UNIVERSITÉ LAVAL

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

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

SOL ET ÉCOSYSTÈME : MANIFESTE POUR UN NOUVEAU REGARD

par

DANIEL HENRY
AGRONOME

Les sols sont parmi les milieux les plus mal étudiés de la terre. L'activité de cette mince couche foncée qui couvre la surface de la terre est déterminante pour la survie de la biosphère sous sa forme actuelle...

DIANA W. FRECKMAN

Publication n° 208

décembre 2005

Édité par le

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

UNIVERSITÉ LAVAL

Département des Sciences du Bois et de la Forêt

Québec G1K 7P4

Québec Canada

Introduction

Daniel Henry est conseiller technique auprès de l'Agence Canadienne de Développement International (ACDI) où il a fait une longue carrière en milieux tropicaux africains en particulier. Très tôt, il s'est montré intéressé par nos travaux sur les sols, les BRF et la pédogenèse, où sa vision du monde agricole tropical lui indiquait que nos travaux apportaient de nouvelles perspectives et de nouvelles voies de prospective.

J'attire l'attention sur le fait qu'il est le premier agronome, ayant une expérience tropicale et tempérée, à faire le lien entre l'agriculture et la forêt, traçant ainsi le chemin de la réconciliation entre deux mondes antagonistes, la forêt et l'agriculture et ce, pour des raisons anthropocentriques et culturelles sous tous les cieux.

Qu'il me soit permis d'espérer que ces quelques pages apportent réflexions et sagesse dans un monde qui achève de tout marchandiser avec les résultats que les puissants de ce monde refusent de voir et de considérer. Peut-être vous sera-t-il possible de percevoir dans cet enchevêtrement culturel, technique, philosophique, industriel... que la science ne s'est pas infiltrée dans les interstices de ce monde biologique où l'individu *sol* est composé d'une multitude d'espèces. Nous percevons toujours le monde et le sol comme des éléments à notre service où les sources énergétiques sont au sommet de nos préoccupations.

Peu a été investi dans la recherche et rien sur l'acquisition de connaissances de fond qui gouvernent notre présent et notre avenir. Ce travail nous mène aux frontières de notre ignorance voulue et entretenue par des philosophies guerrières et mercantiles. Peu se sont intéressés au royaume de la mort comme le sol est perçu dans toutes les civilisations, alors que dans les faits, le sol est le royaume de la vie retrouvée perpétuellement dans toute sa diversité et sa richesse. Voilà ce que notre civilisation technique, à travers ses grandes institutions universitaires, a oublié de nous montrer, soucieuse plutôt de grandeurs que de vérités *Terre à Terre*.

*Professeur Gilles Lemieux
Université Laval
QUÉBEC*

Agronome depuis 30 ans au service de la coopération et de l'aide au développement, l'auteur voit comme un défi croissant d'avoir à concilier les contradictions qu'il constate entre les bases scientifiques et techniques sur lesquelles la gestion des ressources naturelles est raisonnée, en particulier pour l'agriculture, et ce qu'il peut observer dans l'environnement. Généraliste, il propose ici ses observations, son analyse et une synthèse de son expérience ouvrant des perspectives nouvelles dans la compréhension de la fertilité du sol.

Exposé aux contrastes entre agriculture tropicale et agriculture tempérée, il est conduit à analyser sous divers angles les contradictions apparentes entre sols forestiers et sols agricoles. Selon lui des bases théoriques incomplètes, voire erronées, dans la connaissance du fonctionnement des sols, et les techniques qui en sont issues, ont un impact sur la détérioration de l'écosystème terrestre aussi important que les changements climatiques. Ces erreurs qui s'expliquent historiquement sont difficiles à voir en raison des succès économiques de l'agriculture et des comportements anthropocentriques.

Pourquoi faut-il que sols forestiers et sols agricoles soient traités comme deux univers séparés, voire opposés? Pourquoi faudrait-il qu'avec ou sans intrants l'agriculture appauvrisse les espaces qui lui sont consacrés alors que la forêt les régénère? Un espace agricole redevient spontanément une forêt, l'inverse n'étant pas vrai : cette évidence apparente pourrait-elle cacher des phénomènes importants? Réfléchir aux pratiques de cultures itinérantes et de cultures sur brûlis fait surgir bien des questions qui deviennent applicables aussi à d'autres formes d'exploitation : tout fait converger la réflexion sur l'origine, l'évolution et la gestion de la fertilité des sols. Les changements dans la fertilité justifient l'alternance agriculture-forêt et sont au centre des pratiques agricoles depuis la naissance de l'agriculture. Un même sol passe d'un usage à l'autre. Pourquoi ces différences quand la même fonction chlorophyllienne est la base dans les deux cas?

L'article identifie les causes de cette opposition apparente. Il évalue les conséquences pratiques sur l'agriculture et sur l'écosystème. Les contrastes entre sols forestiers et sols agricoles devraient retenir davantage l'attention, car en prise directe avec le développement durable et tout simplement la vie, ces phénomènes évoqués ont une importance capitale. Reprenant des données et des processus propres aux sols sous forêts et retenant peu l'attention jusqu'ici, l'article introduit une façon différente d'expliquer les mécanismes fondamentaux de la fertilité. Elle pourrait être une réponse aux contradictions constatées : en accord avec les lois de l'évolution l'arbre entretient un rapport très particulier avec l'écosystème sol, et une connaissance fine serait le point de départ d'une nouvelle révolution agricole. Au plus grand nombre le sol apparaît comme une question banale, ce qui contraste avec sa véritable complexité et devrait en soi éveiller l'esprit critique.

Désertification, déforestation, appauvrissement, salinisation, changements climatiques : le sol est une question qui se fait pressante, tant au Sud qu'au Nord, tant en régions tropicales qu'en régions tempérées. Pour comprendre les faits observés au Sud il faut remettre en cause les postulats sur lesquelles reposent les connaissances scientifiques bien établies au Nord.

Summary : Soil and ecosystem, manifesto for a new perspective

Agronomist in the area of international development cooperation for the last 30 years, the author sees as a growing challenge the need to reconcile contradictions between the scientific/technical basis on which natural resource management is established, and the observations he makes in the environment, particularly in agriculture and forestry. As a generalist, he is presenting his observations, analysis, a synthesis of his experience and a proposal for a new perspective.

He is struck by contrasts between tropical agriculture and temperate agriculture. This leads him to analyze apparent contradictions between forest soil and agricultural soil, from different perspectives. According to him, the theoretical basis in the knowledge about the functioning of soils are incomplete and may be erroneous. Techniques evolving from them are impacting on the deterioration of the terrestrial ecosystem as much as climate changes is. These errors have historical explanations; it is difficult to expose them because of economic successes in agriculture and anthropocentric behaviour.

Why should forest soils and agricultural soils be treated as separate, even opposite, entities? Is it inevitable that agriculture will lead to the deterioration of soil whether or not inputs are added? If left alone, an agricultural area will spontaneously turn back to forest; the reverse however is not true. Behind this seemingly simple statement of common sense, there are important facts that need to be investigated. From questioning slash and burn and shifting cultivation systems, we are led to question all cultivation systems and all observations and analysis converge towards soil's fertility: its origin, evolution and management. Agriculture/forest rotation in a given place is justified by fluctuating fertility and fertility, since the beginning of agriculture remains the centrepiece of most agricultural practices. Why should these differences between forestry and agriculture be made, when the chlorophyll function and other processes are the same?

The article identifies roots for this apparent opposition. It assesses practical consequences to agriculture and the ecosystem. Contrasts between forest soils and agricultural soils should attract more attention as they are directly linked to sustainable development: the phenomena under discussion are very important. The author re-examines a number of data and processes which are overlooked and uses them within a new perspective to explain fundamental mechanisms of soil fertility. This perspective could explain the contradictions. Consistent with evolutionism, trees establish unique relations with the ecosystem «soil» and an in-depth understanding of this would be the starting point for a new revolution in agriculture. Soil appears to be trivial to most people. This fact contrasts highly with its actual complexity, and should awaken discerning thinking.

Desertification, deforestation, soil impoverishment, salination and climate change make soil a pressing issue in the North as much as the South; in temperate as well as tropical regions. Understanding the reality occurring in the South can radically alter the axioms underlying our well-established scientific knowledge in the North.

Sol et écosystème : manifeste pour un nouveau regard



Daniel Henry

Djbh2003@yahoo.com

...Soils are one of the most poorly researched habitats on earth. The functioning of this thin dark covering on the surface of the earth is vital for the survival of the biosphere in its present form....¹

(Les sols sont parmi les milieux les plus mal étudiés de la terre. L'activité de cette mince couche foncée qui couvre la surface de la terre est déterminante pour la survie de la biosphère sous sa forme actuelle...)

¹ *LIFE IN THE SOIL SOIL BIODIVERSITY: ITS IMPORTANCE TO ECOSYSTEM PROCESSES*. Report of a Workshop Held at The Natural History Museum, London, England. August 30-September 1, 1994, [Diana W. Freckman](#), Editor [Natural Resource Ecology Laboratory](#). College of Natural Resources, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523-1499 USA.

C'est là une citation parmi 100 autres possibles, qui montre le malaise grandissant sur ce sujet dans la communauté scientifique comme dans le grand public.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé :	8
DES OBSERVATIONS ET DES QUESTIONS	9
De la matière organique.....	10
Gestion de l'énergie dans l'écosystème	11
Origine de l'antagonisme agriculture-forêt.....	13
Termites	15
Arrivée des sciences en agriculture.....	16
D'autres différences fondamentales forêt-agriculture.....	19
Des questionnements	19
Un cadre d'interprétation.....	21
POURQUOI EN EST-ON LÀ?.....	23
Poids de l'histoire dans la relation de l'homme au sol.....	23
Résultats obtenus par l'homme avec ses approches	24
Complexité des phénomènes à étudier.....	26
Difficultés dans l'acquisition des connaissances.....	26
Autres considérations	28
VOIR LES CHOSES DIFFÉREMMENT : LIGNINE ET CHAMPIGNONS, SOCLE DE L'ÉCOSYSTÈME TERRESTRE.....	29
Les termes de l'équation.....	29
Ce qui est acquis pour bâtir une autre vision?	30
Faits et hypothèses retenus après l'exposé	30
La lignine	32
Les champignons (Fongus)	35
Une hypothèse et une proposition.....	37
Problématique de mise en œuvre et objections.....	41
Discussion et observations complémentaires	43
Pour conclure : quelques remarques.....	45
LECTURES :	47
point de vue d'un congrès scientifique	47
Soil Microarthropod Abundance... ..	47
Stabilité des écosystèmes	48
L'intersuffisance des écosystèmes épigé et hypogé.....	48
Les polyphénols : Nature, origine et rôle	49
Lignin Formation in Plants.	49
Biodiversity in Litter Decomposition	50
The Role of Polyphenols in Terrestrial Ecosystem Nutrient Cycling.....	51
Origine des plantes : paléobotanique	52
Complexité : Définition usuelle.....	53
La sélection des idées	54
BIBLIOGRAPHIE.....	56

Résumé :

Exposé pendant toute sa carrière d'agronome aux différences entre agriculture tropicale et agriculture tempérée, l'auteur analyse sous divers angles les différences entre sols forestiers et sols agricoles. Selon lui des bases théoriques incomplètes, voire erronées, dans la connaissance du fonctionnement des sols, et les techniques qui en sont issues, ont un impact aussi important que les changements climatiques dans la détérioration de l'écosystème terrestre. Ces erreurs qui s'expliquent historiquement sont difficiles à voir en raison des succès économiques de l'agriculture et des comportements anthropocentriques.

Gatineau, Québec Canada décembre 2005

Agronome depuis 30 ans au service de la coopération et de l'aide au développement, l'auteur éprouve de plus en plus de difficultés à concilier les contradictions qu'il constate entre les bases scientifiques et techniques sur lesquelles la gestion des ressources naturelles est raisonnée, au service de la production agricole notamment, et ce qu'il observe sur le terrain en régions tropicales. Les lectures, générales ou scientifiques, les débats publics ou spécialisés fournissent de nombreuses raisons d'accroître ce malaise, que ce soit en ce qui concerne l'utilisation des ressources naturelles ou l'environnement en général.

L'exposition régulière aux pratiques de cultures itinérantes et de cultures sur brûlis, suscite la réflexion sur l'origine, l'évolution et la gestion de la fertilité des sols. Les changements dans la fertilité justifient l'alternance agriculture-forêt et sont au centre des pratiques agricoles depuis la naissance de l'agriculture. Un même sol passe d'un usage à l'autre. La même fonction chlorophyllienne est à la base de la vie dans les deux cas. Pourquoi faut-il que sols forestiers et sols agricoles soient traités comme deux univers séparés, voire opposés? Pourquoi faudrait-il que s'il n'y pas d'apports externes, l'agriculture appauvrisse² les espaces qui lui sont consacrés alors que la forêt les régénère?

L'auteur propose ici de rechercher les causes d'une telle opposition, d'en mesurer les conséquences pratiques sur l'agriculture et sur l'écosystème, et d'introduire une façon différente d'expliquer les mécanismes fondamentaux de la fertilité qui soit une réponse aux contradictions qu'il a constatées. Force est d'admettre que le sol apparaît comme une question banale, voire insignifiante ou dérisoire pour l'opinion publique. Beaucoup de gens sont convaincus que l'essentiel de ce qui s'y passe est connu et qu'il suffit d'en améliorer l'utilisation, avec des technologies de pointes par exemple, mais surtout avec des apports financiers massifs. Ce contexte de certitudes devrait en soi éveiller l'esprit critique. Les contrastes entre sols forestiers et sols agricoles devraient le faire encore davantage, car, en prise directe avec le développement durable et tout simplement la vie, ces phénomènes ont une importance capitale.

² Plusieurs indicateurs caractérisent cet appauvrissement : biodiversité, énergie stockée (modification de l'entropie du milieu...), apparition de l'érosion, apparition systématique d'espèces endémiques de toutes natures (botanique, fongiques, entomologiques, voire aviaires), modification des eaux souterraines et de surface, etc.

Désertification, déforestation, appauvrissement, salinisation, changements climatiques : le sol est une question qui se fait pressante, tant au Sud qu'au Nord, tant en régions tropicales qu'en régions tempérées³. Tel qu'on le verra un peu plus loin, on peut même se convaincre que le Sud interpelle les connaissances scientifiques et technologiques d'une façon qui pourrait bien conduire à des remises en questions, parfois très profondes, des acquis et des pratiques au Nord.

On comprendra que dans un questionnement mettant en jeu autant de disciplines, ces lignes ne présentent pas une connaissance achevée, livrée ici dans tous ses détails, mais plutôt une recherche en devenir que l'auteur, généraliste, souhaite partager. Il reconnaît d'emblée que la substance comme l'exposé en sont encore bien imparfaits, loin d'une forme achevée, et que des scientifiques spécialisés auront beaucoup à ajuster, voire à redire dans leurs domaines respectifs. À ce stade, une synthèse n'en demeure que plus impérieuse, et les questions de fond soulevées n'en apparaissent que plus incontournables.

Il serait souhaitable d'aller au-delà des lacunes encore nombreuses dans l'observation et les raisonnements. Avec ces réflexions, l'auteur veut susciter questions et débats, et trouver les moyens pour accepter l'inconfort et les incertitudes que de telles remises en cause ne manquent pas de provoquer : la marche vers la connaissance est un processus douloureux. C'est aussi un appel à plus de collaboration entre spécialistes de disciplines différentes.

L'exposé consiste à présenter tout d'abord quelques faits et observations, pour partager le questionnement que leur juxtaposition suggère, puis examiner quelques tentatives d'interprétations et enfin proposer des esquisses de solutions pour une sortie de crise.

DES OBSERVATIONS ET DES QUESTIONS

C'est un fait que la très grande majorité des sols de la planète sont le produit de la forêt : dans son évolution la biosphère n'a pas attendu l'arrivée de l'espèce humaine pour que s'élabore ce dispositif sol-forêt qui fait sa force et sa prospérité, particulièrement depuis l'arrivée des feuillus (voir Darwin, J. Monod⁴, ou même les questions que posent J. Lovelock⁵). La biodiversité que l'on connaît sur la terre n'est pas seulement le résultat de conditions initiales favorables; depuis son apparition la vie participe elle-même à la modification de l'écosystème et le résultat est un milieu encore plus favorable à la diversification des formes de vie : réduction du taux de CO₂,

³ L'auteur laisse aux organismes spécialisés disposant des moyens adéquats le soin de quantifier ce qui revient à l'agriculture dans la dégradation des ressources naturelles : désertification, dégradation des sols, disponibilité et pollution des eaux, biodiversité, changements climatiques... Voir : FAO, UNEP, INDP, GCRAI, IUCN...

⁴ Monod, Jacques, *Le hasard et la nécessité*, (Éditions du Seuil, Paris 1970)

⁵ Lovelock, James, *Gaia : a new look at life on Earth*, Oxford University Press, 1979)

contrôle du taux d'oxygène dans une marge étroite de variation compatible avec la vie. Dans tous ces phénomènes et de plusieurs façons le sol joue un rôle capital.

De la matière organique

Dans un cycle de culture sur brûlis, quand le sol d'une parcelle est épuisé et qu'elle est abandonnée alors que la culture n'a duré que 3 ans ou moins, on assiste à une re-colonisation spontanée et à une récupération de la fertilité plus ou moins rapide par un paysage forestier⁶. Un cycle équivalent existe au Nord⁷, mais son impact sur l'activité humaine étant moindre, le contraste forêt-agriculture passe inaperçu. Il n'en a pas toujours été ainsi comme le montre l'extension et les cycles de défrichement à certaines époques. Les mécanismes intimes de la phase de récupération de la fertilité, toujours associés à l'installation spontanée d'un couvert forestier demeurent peu élucidés. Confronté à cette question, même les spécialistes invoquent d'une part l'accumulation des éléments nutritifs et d'autre part la fameuse *matière organique* (*MO*).

La *matière organique* (*MO*) est une sorte de baguette magique qui a réponse à tout, dans toutes les situations. Une sorte de tarte à la crème ! Qu'est-ce au juste ? Peut-on en donner une description précise ? Sa composition chimique est variable et complexe ; on distingue des fractions de stabilité différente et dont la composition respective change en relation avec un large éventail de facteurs. Elle contient du mort et du vivant : quelles relations y a-t-il entre ces deux parties ? Les descriptions même superficielles du sol insistent de plus en plus sur la relation biologie/fertilité. Elles donnent une longue liste d'êtres vivants de toute nature, mycéliums, collemboles, arthropodes, nématodes, acariens, arachnides, où chaque groupe est représenté par des dizaines voire des centaines d'espèces... au point qu'un néophyte à qui cette liste est présentée finit généralement par demander: «Mais où est le sol ? Qu'en reste-t-il ? ». La *MO* ainsi décrite n'est-elle qu'une juxtaposition de tous ces éléments ? Étonnamment, la *MO* est décrite, dans son origine et sa composition, avec des termes comme déchets, détritiques, décomposition, pourriture, excréments, fumiers, digestion etc. Cette *décomposition* apparaît comme une nécessité pour que la vie revienne⁸ ? La décomposition est-elle une réaction physique ou chimique ou est-elle le

⁶ En région tropicale sèche, même avec des précipitations inférieures à 300 mm/an, de nombreuses expériences de « zones de mise en défens » (accès interdit ou étroitement contrôlé pour les humains et les animaux dans des zones fortement dégradées) montrent les capacités d'auto-récupération généralement sous évaluées de la nature. Exemples : projet PAGERNA au Sénégal, projet LUCODEB au Burkina Faso. La désertification apparaît de plus en plus comme une question politique et culturelle au moins autant que naturelle, même s'il n'est pas de bon ton d'en parler en ces termes.

⁷ La forêt française est 50% plus étendue maintenant qu'au début du XXe siècle. On considère que la moitié de ce gain de superficie est attribuable à l'évolution spontanée des friches. De nombreuses études cherchent à voir si cette récupération se fait vers une forêt telle qu'elle existait avant la mise en culture ou si l'exploitation agricole influence durablement le type de forêt qui se réinstalle spontanément.

⁸ Avec une telle imprécision terminologique on peut se demander si tout cela n'est pas plus près de la mythologie de l'espèce humaine que de la connaissance objective. On est tenté de faire un étrange parallèle avec l'image du Phénix.

résultat de l'action de la biocénose ? C'est là une vision difficilement acceptable dans un univers dont on découvre chaque jour un peu plus la complexité mais encore plus la richesse tout autant que la logique et la rigueur d'organisation. Au-delà de la complexité, ne serait-ce pas l'anthropocentrisme qui pousse à se contenter d'une notion aussi vague de la *MO*, ce qui revient à ne lui accorder d'autres logiques et d'autres raisons d'être que de servir les besoins et desseins des hommes ?

Les ouvrages de pédologie emploient le terme humus pour être plus précis et proposent des classifications des sols selon des descriptions principalement physico-chimiques. L'humus représente pourtant un milieu métastable où interagissent des éléments vivants du sol nombreux et variés et qui jusqu'à un certain point en sont un des composants. On reconnaît généralement une qualité plus grande aux humus forestiers, notamment en ce qui concerne la stabilité. Ces humus plus stables sont issus de la transformation de la lignine du bois, mais de nombreuses questions restent à résoudre.

Ce qui frappe c'est la difficulté à comprendre l'aspect systémique du sol dans toutes ses dimensions: par exemple, la composition de la biocénose du sol est décrite au niveau du *genre* alors qu'on reconnaît qu'il faudrait travailler au niveau de *l'espèce* pour être sûr des explications avancées. En zones tropicales et particulièrement en conditions arides, les techniques utilisant la *MO* ou les engrais chimiques, ont des résultats décevants : la dynamique qui y régit la *MO* et l'efficacité des engrais a rendu jusqu'ici économiquement inopérantes en agriculture les solutions qui ont donné des résultats en régions tempérées⁹. Une constatation s'impose : même en l'absence de *MO* la forêt est capable de régénérer la richesse du sol alors que l'agriculture sous ses diverses variantes la consume. L'Amazonie en est un exemple éclatant¹⁰.

Si la *MO* est un concept sur lequel s'appuient de nombreux raisonnements agronomiques et des pratiques agricoles, il est tellement globalisant qu'il ne peut pas être considéré comme un concept scientifique. Il n'est pas assez précis pour être porteur de nouvelles compréhensions : c'est plutôt un concept commode pour des fins technologiques, voire de science appliquée, mais avec des limites certaines dans une perspective de science fondamentale.

Gestion de l'énergie dans l'écosystème

⁹ On réfère ici à la difficulté de contrôler les pertes des engrais par lessivage et à toute la difficulté de remonter durablement et économiquement la concentration en carbone de ces sols avec des composts ou par la recherche d'alternatives du type cultures sous couvert végétal, cultures associées, cultures sans labour, etc.

¹⁰ **Le grand public et certains spécialistes sont très impressionnés par les *terra preta* trouvées dans cette région : pourtant tout autour de ces sites la présence de l'un des milieux les plus luxuriants de la planète sur l'un des supports physiques les plus pauvres est bien plus extraordinaire. Comment l'explique-t-on ? Quelles conclusions en tire-t-on ?**

Les phénomènes vitaux comportent tous des échanges d'énergie. Or, que ce soit en milieu agricole ou en milieu forestier, il n'y a qu'une seule source d'énergie primaire utilisable et disponible dans des conditions compatibles avec la vie¹¹ : la radiation solaire filtrée par l'atmosphère. Ce sont principalement les plantes vertes qui sont capables de profiter de cette radiation grâce à la chlorophylle. Elles s'en servent pour produire des chaînes moléculaires de complexité croissante, spécifiques aux phénomènes de la vie : stockage d'énergie, constituants, enzymes, codes génétiques.

La photosynthèse est l'unique source et point de départ obligé où les êtres vivants s'approvisionnent en énergie et en produits physiologiques, directement ou indirectement. Or la presque totalité de la production de la photosynthèse est gérée à travers le sol, y compris le stockage de l'énergie qui alimente le fonctionnement de l'écosystème. Le mécanisme existe depuis les origines de l'écosystème terre puisque les autres sources d'énergie utilisées intensivement par l'homme, le charbon, le pétrole et une partie du gaz, sont en fait de l'énergie de la radiation solaire captée et accumulée grâce à la fonction chlorophyllienne et stockée sous forme chimique¹².

Les interprétations récentes suggèrent que le code génétique n'est qu'une *machine* à gérer l'énergie : les mécanismes qui se passent dans le sol devraient donc être aussi analysés dans une logique de gestion de l'énergie par ce système et de maximisation de sa conservation et non dans une logique de production de biomasse. Le sol a joué et joue toujours un rôle important dans les flux d'énergie qui caractérisent l'écosystème Terre.

C'est en relation avec le sol où se rencontrent les plantes, d'autres êtres vivants et certains nutriments (minéraux ou complexes) qu'ont lieu des phénomènes qui conditionnent tout l'écosystème terrestre, en particulier d'échanges entre les espèces vivantes.

Du point de vue énergie et biochimie, il n'y a pas de différences fondamentales entre les espèces agricoles et les espèces forestières, végétales ou animales : dans leur composition elles ont en grande partie les mêmes sucres, les mêmes protéines et les mêmes lipides, et leurs mécanismes physiologiques reposent sur les mêmes réactions. Sur ces bases communes, l'homme consacre beaucoup d'énergie à refouler la forêt, et son agriculture a besoin d'efforts constants et d'apports externes coûteux pour maintenir sa productivité, entre autre, au prix d'une consommation énergétique considérable¹³ et d'une diminution de la biodiversité. Au contraire, abandonnés, les

¹¹ D'autres situations existent mais par comparaison elles sont quantitativement peu importantes.

¹² **On remarquera que ces énergies ont toutes des noyaux phénoliques comme structure chimique de base, tout comme la lignine, deuxième composant du bois après la cellulose et chimiquement plus stable.**

¹³ Il faut 2 500 l de pétrole pour produire 1 t d'engrais azoté, et des chiffres variant de 3 à 10 calories consommées pour une calorie alimentaire produite sont couramment cités : les bases et conventions de calcul peuvent être différentes mais les conclusions sont régulièrement dans le sens de production d'entropie. Plus de terres ont été converties pour l'agriculture depuis 1945 qu'aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles réunis. Plus de la moitié des engrais azotés synthétiques - mis au point en 1913 - utilisés pour l'agriculture l'ont été depuis 1985. Selon les experts, la conséquence en est une perte substantielle et largement irréversible de la diversité

mêmes milieux redeviennent spontanément une forêt stable, avec une biodiversité grandissante. L'agriculture produit de l'entropie. La forêt est productrice de néguentropie. Ce renversement, qui apparaît comme quelque chose allant de soi, devrait au contraire susciter un questionnement fondamental.

Dans une perspective évolutionniste ce contraste entropie/néguentropie entre agriculture et forêt est lourd de sens pour évaluer la validité des bases théoriques sur lesquelles repose l'exploitation actuelle des ressources naturelles. Ce contraste est encore plus saisissant sous les tropiques qu'en zone tempérée. C'est là une situation intenable à long terme pour la survie de la planète qui aboutit déjà à une dégradation alarmante des écosystèmes les plus fragiles, et à une fragilisation des autres. En quelque sorte, du point de vue de la gestion de l'énergie du système sol l'homme, s'impose à contre-courant de l'évolution : on parle de plus en plus de crise.

Mais dans tous les cas, lors du passage des pratiques traditionnelles vers des pratiques évoluées, il y a production croissante d'entropie, quoique certaines pratiques traditionnelles, tels les brûlis, soient déjà fortement productrice d'entropie.

Pourtant, dans la nature, la règle est bien l'évolution vers des systèmes dont l'entropie est toujours la plus basse possible, et le sol joue un rôle capital dans ces systèmes et leur évolution. L'entropie de la steppe étant plus élevée que celle de la forêt, la steppe devrait donc évoluer vers la forêt dans la majorité des cas.

Origine de l'antagonisme agriculture-forêt¹⁴

Il semble y avoir un consensus pour dire que c'est dans les steppes à graminées et avec les céréales que ce sont trouvées réunies les conditions nécessaires à l'apparition de l'agriculture. Les ancêtres du blé et de l'orge sont donc apparus et ont prospéré là où les conditions bioclimatiques étaient les plus favorables : dans le croissant fertile. Il semble qu'ils y formaient des prairies¹⁵ spontanées capables de produire de 10 à 15 q/ha de grain, suffisamment pour permettre à des chasseurs cueilleurs de se sédentariser¹⁶. En termes d'évolution, les conditions forestières ne sont pas favorables à l'apparition de plantes ayant ces caractéristiques

L'hypothèse peut donc être émise que l'absence de forêt était une condition indispensable à l'apparition de l'agriculture, et qu'en conséquence nos ancêtres ont été conduits à éliminer la forêt pour tenter de reproduire à leur profit ce qui se passait dans ces prairies. Une hypothèse

de la vie sur la Terre, où 10 à 30 % des espèces de mammifères, d'oiseaux et d'amphibiens sont désormais menacées d'extinction.

¹⁴ Agriculture : travail du sol pour lui faire produire quelque chose (Larousse)

¹⁵ Prairie: formation végétale dépourvue d'arbres et arbustes, composées d'herbacées où dominent les graminées.

¹⁶ Dans de telles conditions l'homme dépense une calorie en travail pour en récupérer environ 50, lesquels sont produites à partir de l'énergie solaire et un coût entropique négatif pour le milieu.

semblable paraît raisonnable aussi pour expliquer ce qui s'est passé autour de l'apparition de l'élevage.

Il y a bien incompatibilité entre occupation forestière et usage agricole d'une même parcelle. (L'agroforesterie traditionnelle ou moderne mériterait une discussion). Le développement de l'agriculture est étroitement lié à l'abattage de la forêt (pour ne pas dire sa destruction), au point où le recul de la forêt apparaît synonyme de progrès et de création de richesse dans l'histoire de l'homme. Ce l'est encore dans de nombreuses situations (voir le débat sur la gestion des forêts amazoniennes), même si l'agriculture entraîne de façon systématique un appauvrissement des sols, y compris des sols considérés comme les plus riches.

En coupant la forêt pour installer son agriculture, l'homme peut regrouper les plantes qu'il sélectionne afin de réduire la compétition dont elles font l'objet en pleine nature, afin d'en faciliter l'accès et la récolte, et de faciliter ses interventions. Ce faisant, il modifie le fonctionnement de mécanismes à l'œuvre dans la nature, visiblement avec un grand impact sur les équilibres floristiques (apparition des adventices) ou les parasites de ses cultures et sur la biocénose du sol. Ceci est moins visible, mais comme le montre de plus en plus de travaux est directement relié aux changements de fertilité.

La baisse de la fertilité du sol est certainement la conséquence négative de l'agriculture la plus directement perceptible pour l'homme à travers la baisse de production. La plupart des techniques ont pour but de remédier à cette baisse de fertilité. Il y a eu, successivement ou en relation :

- la culture itinérante (avec ou sans brûlis),
- l'association agriculture élevage pratiquée de façon systématique et contrôlée,
- les différents types d'amendement tels les fumiers, les composts, le chaulage,
- les jachères et les rotations des cultures avec ou sans une période forestière,
- l'utilisation des engrais chimiques,
- la recherche de semences plus performantes,
- l'irrigation.

Avec ses techniques qui provoquent une diminution de la fertilité et de la biodiversité l'homme fonctionne à contrario de l'évolution. L'histoire humaine comporte nombre de disparitions de civilisations. Chaque fois, elles sont accompagnées de changements forestiers importants. Dans un certain nombre de cas il est admis que c'est l'exploitation inappropriée ou abusive de la forêt qui serait à l'origine des disparitions : civilisation nubienne, presque île du Yucatan, Île de Pâques. Ces cas sont connus depuis longtemps et frappants car les zones alors occupées sont maintenant désertiques. D'autres le sont moins parce que la forêt a eu le temps de les re-coloniser. On commence à mieux connaître de tels cas : basses terres du Bassin du Congo, Forêt gabonaise, région du Haut Xingu, Papouasie Nouvelle Guinée, Nouvelle Géorgie¹⁷.

¹⁷ Willis, K.J. et al *How Virgin is the Virgin Rainforest* in Science Vol. 304 16 April 2004. Cet article présente plusieurs cas pour essayer de répondre à la question : *Est-il plus approprié de parler de nature primitive ou de zone à haute diversité biologique ?*

Au sens darwinien du terme, évolution du sol et évolution la forêt sont indissolublement liées et la bio-diversification est au centre des phénomènes correspondants. Puisque les techniques inventées par l'homme ne parviennent pas à faire aussi bien que la nature et que les perspectives vont s'aggravant, il faut se demander quelles sont les choses fondamentales qui existent en forêt et que l'homme modifie ou détruit avec son approche à l'agriculture.

Termites

Les termitières géantes sont parmi les photos d'Afrique qui impressionnent le plus. Malgré les efforts de quelques chercheurs convaincus, les connaissances demeurent très en deçà de ce qu'il faudrait pour comprendre leur rôle dans l'écosystème. Vu la masse qu'ils représentent et l'intensité de leur activité, ce rôle ne peut être que considérable. Même là où ce genre de termitières n'est pas présent, il est courant d'observer que de petites branches tombées au sol disparaissent en moins de 48 heures. Dans les heures qui suivent, et généralement de nuit, il se forme une gaine terreuse qui recouvre toute la branche en épouse la forme, et est vidée de son contenu, sauf parfois l'écorce. C'est bien là le travail des termites. Quel est le rôle de cette gaine ? Elle peut protéger les termites au travail contre les prédateurs. Dans les climats chauds et secs, elle crée un microclimat qui pourrait avoir un impact sur l'économie de l'eau : en conditions extrêmes, il suffit de peu de chose pour changer radicalement des résultats.

Dans ces mêmes endroits, malgré la densité des termites, les plantes vivantes ne sont pas affectées, au contraire semble-t-il. Comparée aux sous-bois des forêts tempérées, la surface du sol des forêts et brousses tropicales est bien plus dégagée, même dans des zones relativement pluvieuses : si étant minces, les feuilles peuvent être aisément émietées, même par le vent, il ne peut en être de même pour les branches. Il est plus vraisemblable que les branches sont récupérées par les termites tel que décrit. La littérature descriptive des termites est assez riche quoique encore en deçà de ce qu'il faudrait savoir pour bien interpréter leur rôle dans l'écosystème. Dans la logique de l'évolutionnisme, **ils ne sont pas seulement une curiosité pour les érudits et les amateurs d'entomologie mais sûrement l'un des piliers des écosystèmes tropicaux**. Ces écosystèmes étant très variés, par le climat, par les substrats et par l'histoire, les solutions élaborées par la nature doivent l'être aussi, ce qui n'en facilite pas l'étude. La perception de l'intérêt économique immédiat que peuvent représenter ces milieux est peut-être aussi en question pour expliquer le peu de ressources que leur étude attire ?

Les termites ne sont donc pas seulement ces insectes nuisibles, grands destructeurs des charpentes et autres structures en bois. Dans plusieurs régions d'Afrique, les agriculteurs recherchent la terre des termitières et la récupèrent, même si le travail est fastidieux et de ce fait peu répandu. Il est facile de trouver dans la littérature des travaux qui montrent que la terre des termitières est très différente de ce qui l'entoure et que le niveau de *MO* et de nutriments minéraux y est plus élevé que dans les terrains avoisinants. Une partie des pratiques traditionnelles de cultures itinérantes semblent faire intervenir la mise à profit du travail des

termites dans leurs justifications¹⁸. Lors de la *mort* des termitières, l'érosion hydrique en transforme la partie extérieure en ronds longtemps dépourvus de végétation. Dans le Sud du Burkina, par exemple, des techniciens forestiers proposent de recouvrir ces ronds de branchages de peu de valeur (*Pilostigma*, couramment brûlé), de retourner le sol sommairement et d'ensemencer normalement. Les rendements qui y sont obtenus sont étonnants pendant plusieurs années, avec moins de parasites. Même si les surfaces concernées sont minimales, le fait vaut la peine d'être relevé pour fin d'investigations.

Si simple en apparence, l'appareil digestif des termites intéresse de plus en plus les chercheurs, peut-être en raison des coûts associés dans les manifestations négatives, mais on est encore loin d'en avoir une vue d'ensemble. À l'entrée, les mandibules broient le bois ; la partie terminale, le cæcum, présente une richesse étonnante de micro organismes qui intrigue la recherche et montre la complexité des réactions qui s'y passe, et donc, vu l'omniprésence des termites, l'importance pour l'écosystème. L'association avec des champignons reste peu élucidée, même s'ils sont présents dans les termitières au point que des espèces de termites ont été classées dans un sous-groupe appelé champignonnistes. Étant donnée l'importance des associations, d'une part entre des champignons et bois (ou lignine) et d'autre part entre termites et bois cette association doit revêtir une grande importance pour l'édifice. Ces trois associations formeraient le trépied sur lequel repose l'écosystème : une image trop facile ?

Un travail bibliographique approfondi et des analyses, mais surtout des synthèses multidisciplinaires de travaux accumulés permettraient certainement de mieux évaluer leur importance et de tirer toute sorte de résultats utiles au quotidien. Une première conclusion très importante de ces observations est que les pratiques de lutte contre les termites doivent être soigneusement ciblées pour ne pas affecter l'écosystème d'une façon plus coûteuse à terme que de supporter certains inconvénients.

Arrivée des sciences en agriculture¹⁹

L'idée que l'homme actuel se fait du fonctionnement de l'écosystème terrestre auquel il appartient repose sur un certain nombre de convictions qu'il s'est faites soit à partir d'observations considérées banales auxquelles on ne porte pas attention, soit sur des connaissances fondamentales considérées comme acquises. En les reprenant et en les juxtaposant ci-après l'auteur montre qu'il y a lieu de se poser des questions.

L'agriculture actuelle, repose sur une longue suite de découvertes. Celles de Von Liebig, de la nutrition minérale des plantes et de la mise en évidence de l'existence de 3 éléments majeurs, soit

¹⁸ Fairhead, J. Leach, M. *Termites, society and ecology : perspectives from West Africa*. In: Proceedings of 1st international Symposium on Insects and cultures

¹⁹ «Le sol et son amélioration» sont des titres qui reviennent dans nombre de manuels d'agriculture et d'agronomie : dans une réflexion comparant agriculture et forêt cette préoccupation introduit bien des interrogations.

l'azote, la potasse et le phosphore, puis celle de Boussingault sur la fixation symbiotique de l'azote marquent certainement le début de l'application des méthodes scientifiques à l'agriculture. Il a été aussi conclu de ces découvertes que les minéraux doivent être en solution dans l'eau disponible dans le sol pour que les plantes puissent les absorber. Les recherches ont aussi permis de caractériser les propriétés physiques et chimiques propres à chacun de ses éléments pouvant être distingués dans le sol : sable, argile, limon. Avec la découverte de quelques lois, telle l'osmose, ces connaissances ont été le point de départ d'une révolution agricole. Cette révolution a produit la croissance des rendements que l'on connaît. Ces découvertes ont joué un grand rôle dans le développement économique de presque tous les pays et, ouvert la voie à la Révolution verte à l'origine du recul du problème de la faim pour l'humanité²⁰.

La recherche a permis de raffiner ces découvertes, mais sans fondamentalement remettre en question la façon dont agriculture et agronomie perçoivent et évaluent la fertilité des sols à partir de données physico-chimiques : dosages N, P et K, capacité d'échange, capacité de rétention en eau...²¹. Pourtant, ce ne sont que des indicateurs dont la mesure repose sur des conventions, l'hypothèse étant qu'ils représentent la réalité au plus près mais ils ne sont pas la réalité elle-même.

On comprend mieux pourquoi les engrais minéraux sont au centre de cette révolution ainsi que la place qu'ils occupent en recherche agronomique²². Ils complètent/supplément/remplacent (la terminologie n'est pas anodine quand vient le temps de raisonner) l'apport fourni normalement par le seul sol en forêt. Les gains considérables de rendement obtenus, ont ensuite justifié des investissements lourds, en machinerie, en génétique, en profitant des synergies entre les facteurs de production.

Agronomie et agriculture vouent une sorte de culte aux rendements comme seuls indicateurs de la rentabilité, rentabilité étant prise dans un sens exclusivement économique et financier immédiat. C'est principalement pour des raisons *environnementales*, en particulier la durabilité et la biodiversité affectées par la pollution, qu'on s'interroge de plus en plus sur cette vision des choses. On prend de plus en plus en compte d'autres facteurs pour évaluer les coûts *réels*. Il y a aussi des tentatives vers des techniques alternatives de production mais elles introduisent des données encore considérées comme subjectives ou non mesurables contrairement aux données économiques et financières. Elles font une grande place à l'observation

²⁰ Tout cela n'a certainement pas contribué pour peu à imprégner une grande part de la société actuelle où l'homme se voit comme une sorte de finalité de la nature et pense qu'il pourra tout maîtriser et tout faire. Qu'il pourra, de proche en proche, remplacer la nature telle qu'a été élaborée à travers les mécanismes complexes de l'évolution.

²¹ D'où la coutume de se référer à la *solution nutritive du sol*, et l'idée de recourir directement à de telles solutions pour produire des plantes en culture hydroponique.

²² L'autre grand volet de la recherche agronomique étant la sélection des plantes, et sa version actuelle, l'ingénierie génétique.

La nutrition minérale des plantes *marche* en pots de laboratoires et *marche* aussi au champ : ces résultats positifs avec les engrais peuvent fort bien occulter les procédés plus complexes dans la nature. L'examen des phénomènes de re-colonisation suggère que la forêt *génère* ses propres nutriments. Elle peut le faire en grande quantité et rapidement : elle est au moins aussi productive que l'agriculture tant du point de vue énergie que complexité et à des coûts bien moindres²³.

En régions tempérées on constate la concordance de plusieurs cycles : température du sol, restitution des restes de récolte aux sols, rythme de transformation de ces restes, besoin des plantes en croissance. Avec une bonne régie, les éléments nutritifs sortant d'un champ sont à peu près limités au contenu des plantes récoltées. **Ce ne serait donc pas par hasard ou pour des causes humaines que la découverte en a été faite dans les régions tempérées et que les technologies résultantes s'y sont imposées.**

Il en va tout autrement dans les milieux tropicaux. Ces cycles ne concordent pas et le lessivage des minéraux (issus de la transformation des restitutions organiques) est le phénomène dominant à considérer dans la gestion de la fertilité à des fins agricoles. Il est de loin supérieur aux exportations par les cultures. Une approche minérale à la nutrition des plantes s'avère très coûteuse, et facilement destructrice des équilibres qui génèrent ou maintiennent ces milieux spontanément.

On constate toutefois qu'une importance croissante est accordée à la biocénose des sols, mais avec des impacts limités sur les pratiques agricoles. Celles qui s'en préoccupent, apparentées à l'agriculture biologique, demeurent peu ou prou empiriques et au niveau des observations plutôt que des explications.

La situation ne manque pas de paradoxes quand on veut juger des pour et contre de l'agriculture dominante. En France, par exemple, l'évolution de l'agriculture a permis une augmentation de 50% de la couverture forestière depuis le début du XXe siècle. Les progrès des rendements ont permis une réduction des superficies cultivées, généralement par abandon des terres les moins productives. Les progrès agricoles ont donc contribué à un meilleur environnement. Il y a là une contradiction, au moins apparente au sujet du combat contre la forêt, et de celui de l'appauvrissement des sols par l'agriculture. Comment expliquer que l'agriculture soit devenue aussi performante si la démarche pour y arriver comporte des erreurs importantes ?

Malgré des outils de recherche sophistiqués, le recours à des représentations de la réalité aussi ambiguës que la MO ramène une trop grande partie de l'agronomie et de la science du sol dans le domaine de l'empirisme. Une partie de la démarche scientifique consiste à dissocier les éléments d'une situation et à en trouver les propriétés et rôles. Les concepts globalisateurs tels que la MO éloignent de cette démarche.

²³ On peut y voir une propriété émergente des systèmes complexes face auxquels la recherche éprouve tellement de difficultés.

D'autres différences fondamentales forêt-agriculture

Pour remplir ses objectifs, l'agriculture est maintenue au prix d'un combat permanent contre la forêt, soit pour l'empêcher de re-coloniser l'espace défriché pour cultiver, soit pour conquérir de nouveaux espaces. Ce combat est moins perceptible actuellement en zone tempérée²⁴ mais il est encore très présent en zone tropicale.

Au Nord comme au Sud, dans le processus de re-colonisation et de reconstruction, le sol retourne d'une situation où l'activité bactérienne domine à une situation où l'activité fongique est capitale. D'ailleurs, avec le retour en faveur des techniques agricoles minimisant le travail du sol les études notent souvent un accroissement de la présence fongique. Il s'agit là d'une remarque simple, dont il est fait peu de cas dans la littérature mais qui introduit des changements majeurs dans la façon de comprendre le fonctionnement de tout l'écosystème, plus particulièrement dans le sol. Elle sera le point de départ des conclusions proposées pour une sortie de crise.

Cette remarque s'accorde bien avec la tendance actuelle en taxonomie qui consiste à diviser le monde non plus en 2 *règnes*, animal et végétal, mais en quatre : protistes, fungus (ou *fungus* : les définitions abondent... en anglais²⁵), animaux, végétaux. Le but des classifications est de regrouper dans des *catégories* les formes vivantes qui ont des caractères communs. Utilisant à l'origine surtout des caractères morphologiques, les classifications accordent de plus en plus de place, à l'origine évolutive, à la génétique et finalement à la physiologie. Cette tendance souligne bien que pour rendre compte convenablement des phénomènes observés dans le sol il faille faire une place à part pour les champignons, un *règne* à part.

Comment, en utilisant les observations qui précèdent, expliquer que l'agriculture (avec les techniques courantes) appauvrit les milieux qui lui sont consacrés alors que la forêt les reconstitue ou les enrichit ?

Des questionnements

L'ensemble des faits et observations exposés jusqu'ici font apparaître des zones d'ombres, en particulier celles qui entourent la *MO*, et montrent qu'il y a de plus en plus de raisons de croire

²⁴ En zone tempérée la lutte contre la forêt n'est pas l'objectif premier mais les techniques employées ont pourtant ce même résultat : si l'effort déployé pour maintenir les caractéristiques de l'espace agricole se relâche, la forêt y reprend aussi rapidement.

²⁵ « A group of organisms traditionally included among the plants, but now considered so distinct as to constitute a separate kingdom of their own. Mushrooms are the best known fungi. They are not included in the catalog. » www.nazflora.org/Glossary.htm; « ...One of a group of primitive, nonvascular organisms including mushrooms, yeasts, rusts, and molds. 2. Fungi, which were once classified as plants, have since been reclassified as unmoving organisms that lack chlorophyll. Some fungi are single-celled but differ from bacteria in that they have a distinct nucleus and other cellular structures. Reproduction is accomplished by spores... » www.amfar.org/cgi-bin/iowa/bridge.html. Fongus est utilisé dans la littérature en français, vraisemblablement par analogie, mais il est difficile d'en trouver une définition.

que la connaissance du sol n'est pas aussi achevée que l'on pense communément. Confondrait-on technologie, sciences appliquées et sciences fondamentales ? À toutes fins pratiques, dès que des questions demeurent sans réponse, la science n'y trouve pas son compte.

Il faudra bien un jour se pencher sur les perceptions ambiguës de la *matière organique* et de son rôle.

Pourquoi y aurait-il tant de différences entre sols forestiers et sols agricoles quand les données biologiques et physiques fondamentales y sont les mêmes ? Peut-on affirmer que l'étude du sol est abordée avec l'attitude et les principes propres à la recherche scientifique ? Il faut donc se demander quelles ont été et sont encore les conséquences de l'arrivée de l'agriculture sur la fertilité des sols telle qu'elle est régie en forêt : l'étude des différences et similitudes entre sols forestiers et sols agricoles²⁶ apparaît comme un moyen privilégié de les révéler, et à elle seule, une typologie critique de ces différences et de leur source devrait s'avérer fructueuse pour vérifier la justesse de connaissances sur le sol.

À bien des égards, les contrastes entre les sols des forêts et des steppes recèlent un potentiel de questionnement. Les steppes sont ordinairement marquées par des conditions extrêmes, de température et de d'eau notamment, mais il y a des forêts qui connaissent des conditions semblables. Forêts et steppes peuvent prospérer alternativement dans un même milieu sol-climat, mais c'est comme s'il était difficile de passer de l'un à l'autre : pourquoi ? L'aspect historique des conditions a certainement une importance, telles que les re-colonisations après les glaciations ou le retour des pluies sur les zones désertiques, par exemple. D'autres phénomènes sont en jeu : des semences forestières en semis naturels dans les prairies de l'Ouest canadien pourrissent plutôt que de germer ; dans certains cas, les salicacées parviennent à s'implanter mais sont aisément éliminées. Comme déjà mentionné, la faune a aussi son rôle dans l'évolution ou le maintien d'un système. Par exemple, derrière les grands incendies et si des conditions de stress existent pour les végétaux, les troupeaux de plusieurs milliers d'herbivores, en Amérique du Nord ou en Afrique peuvent anéantir les vellétés de re-colonisation des plantes forestières.

Quelle est la source de cette dichotomie agriculture–forêt dans la vision du rapport de l'humain à son environnement ? Ou encore, l'homme ne peut-il concevoir son avancement qu'en détruisant progressivement l'ensemble de cet écosystème ? Peu de gens acceptent même de SE POSER LA QUESTION EN CES TERMES. N'y a-t-il pas assez d'observations pour confirmer et dénoncer les conséquences chaque jour un peu plus néfastes, accompagnant cette *artificialisation* dont l'appauvrissement de la diversité biologique, à l'échelle macro comme à l'échelle micro est l'une des manifestations les plus visibles. L'agriculture est de plus en plus pointée du doigt pour la plupart de ses pratiques.²⁷

²⁶Ces travaux posent une question de méthodologie pour éviter l'autoréférence. Où en sont les recherches en histoire de l'agriculture et en l'agriculture comparée sur les conséquences pour les sols ?

²⁷ De nombreuses zones considérées comme des prairies ou des steppes herbeuses redeviennent forêts plus ou moins rapidement quand pâturage et broutage sont éliminés. Les populations denses de grands

De plus en plus de chercheurs se demandent si dans l'approvisionnement en eau des espèces cohabitant dans un milieu les échanges *physiologiques* d'eau n'ont pas la même importance que les autres sources. La compréhension actuelle de l'osmose, donne accès à des technologies performantes, mais les choses se passent-elles aussi simplement dans la matière vivante ? Par exemple, la découverte récente des aquaporines, sanctionnée par un prix Nobel de chimie en 2003, laisse entrevoir que des hypothèses nouvelles peuvent être élaborées, ouvrant la porte à des recherches pour de nouvelles compréhensions sur ce thème.

N'est-il pas étonnant que l'étude de la relation entre les civilisations disparues et les changements forestiers concomitants n'ait pas livré plus d'informations et d'explications : insuffisance de travaux, relations inexistantes ou secondaires ?

Dans sa quête, n'acceptant plus les réponses habituelles qui sont faites, l'auteur n'a pu trouver qu'un nombre limité d'interlocuteurs qui acceptent de se demander si les postulats de cette compréhension des choses ne pourraient pas ou ne devraient pas être remis en cause.

Ces questions sont graves, car la capacité de production d'entropie à laquelle est parvenue l'espèce humaine dépasse de loin la capacité de production de néguentropie du système terre. Un cercle vicieux est déclenché quand l'activité humaine, avec les GES par exemple, affecte la capacité du système à maintenir ses équilibres vitaux. Le sol est au cœur de ces mécanismes : le jeu ne pourra durer longtemps.

Pourquoi serait-il si difficile de revisiter les connaissances dans le cas du sol ? Ce pourrait-il qu'on touche là une conséquence peu médiatisée de l'anthropocentrisme ? Prendre conscience de cette attitude pourrait-il conduire/aider à remettre en question les conceptions que l'humain se fait de ses rapports à son environnement et à changer le cours inquiétant des choses ?

Un cadre d'interprétation

Forêt et sol forment un ensemble qui obéit aux lois biophysiques avec le succès que l'on sait aux trois plans de la diversité, de la productivité et de la stabilité : pouvait-il en être autrement avec les lois de l'évolution? Y aurait-il des raisons de croire que le sol agricole n'est pas soumis aux mêmes lois de base? Il paraît plutôt que ce que l'on y observe résulte de la conjugaison de ces lois et de la façon dont elles s'appliquent sous l'influence des modifications introduites par l'homme. Le bilan de l'agriculture est plutôt négatif sur les 3 plans : qu'est-ce qui peut être fait pour qu'il soit positif ou au moins neutre? On peut se demander si ce n'est pas parce qu'on a une connaissance insuffisante ou erronée de ces lois qu'on accepte que le bilan soit négatif.

herbivores et de rongeurs peuvent jusqu'à un certain point avoir la même influence que l'homme pour empêcher ce retour.

Avec l'arrivée des sciences en agriculture on a conclu que la diminution des rendements s'explique par l'épuisement du stock de nutriments présent dans le sol en raison des prélèvements par les récoltes. Cette explication est peut-être vraie au premier degré, mais elle ne tient plus dans une comparaison avec la forêt.

Avec cette explication les découvertes ont conduit à imaginer d'apporter les minéraux (nutriments) directement aux plantes sous forme chimique à l'aide d'engrais pour reconstituer ce stock. Dans la nature (sans engrais) ce stock de minéraux serait reconstitué à partir de la *MO* présente dans le sol, à travers un processus de *minéralisation*. Mais même avec des apports externes (fumier ou autre) les quantités de minéraux que peut produire la *MO* sont bien plus faibles que celles que peuvent apporter des doses modulables d'engrais, d'où l'intérêt des engrais pour une agriculture performante.

On constate que depuis ses débuts, la recherche agronomique admet la conception minérale de la nutrition des plantes dans son sens le plus direct et adopte les engrais comme la voie de progrès. Dès lors, il est logique de voir ou au moins d'utiliser le sol comme un réservoir assez simple pour les nutriments et l'eau dont les plantes ont besoin, assurant en plus un rôle de support physique : le sol est principalement étudié dans un but utilitaire pour l'homme et ses besoins²⁸ sur la base de cette logique. Ce n'est que marginalement (ou en dehors de l'agriculture et de l'agronomie?) que le sol devient un objet d'étude sans référence utilitaire ayant pour objet unique d'en connaître les composantes et de comprendre les lois qui régissent son fonctionnement²⁹. La raison d'être du sol n'est certainement pas de servir les besoins de l'homme. Pourquoi serait-il nécessaire de modifier le sol au point où l'agriculture le fait pour qu'il offre à l'homme ce dont il a besoin?

Les performances de la forêt des régions semi-arides rendent hypothétique la vision purement minérale de la nutrition des plantes : si la minéralisation de la *MO* est un point de passage obligé pour la nutrition des plantes, il est probable qu'en conditions tropicales, en raison des conditions constamment favorables à la *minéralisation* et du lessivage par les pluies, on devrait assister à un appauvrissement graduel de la plupart des milieux. L'observation montre que ce n'est pas le cas, sauf là où les animaux (ou les hommes) interfèrent dans les échanges entre les plantes et les sols. Il est donc permis de se poser la question : en adoptant l'explication de la nutrition minérale des

²⁸ Un survol des annales de la recherche agronomique montre que son objectif principal est l'augmentation des rendements.. La très grande majorité des travaux porte soit sur les nutriments fondamentaux que sont l'azote, le phosphore et la potasse (apports ou minéralisation, disponibilité et rétention, utilisation...) soit sur la sélection de variétés performantes. Viennent ensuite les travaux destinés à contrer les facteurs négatifs : parasites et maladies, etc.

²⁹ Un document aussi important que le «Rapport de synthèse de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire» (mars 2005) établi dans le cadre de l'opération «Objectifs de Développement du Millénaire» d'une part stipule clairement que le bilan est fait en fonction des services fournis par les écosystèmes à l'homme, et d'autre part à aucun moment il n'est fait mention de connaissances ou de recherches fondamentales qui pourraient manquer soit pour comprendre ce qui se passe soit pour rechercher des alternatives.

plantes n'aurait-on pas pris comme une explication définitive ce qui n'est en réalité qu'une hypothèse, qu'une interprétation de la réalité ou qu'une vérité intermédiaire ?

POURQUOI EN EST-ON LÀ?

Poids de l'histoire dans la relation de l'homme au sol³⁰

La dichotomie forêt-agriculture a des racines très lointaines et complexes dans l'expérience et l'histoire de l'homme, peut-être dans l'origine de l'espèce. Histoire et expérience ont contribué à façonner les rapports de l'homme à son environnement et son approche à l'agriculture. Elles continuent vraisemblablement de le faire plus qu'il n'est coutume de l'admettre, ce qui expliquerait la difficulté qu'il y a à trouver de bonnes réponses aux questions posées jusqu'ici et des explications satisfaisantes aux faits et observations. Depuis ses origines de chasseur cueilleur, et à travers un processus essais-erreurs souvent laborieux, l'homme a modifié ses techniques pour améliorer la réponse à ses besoins : se nourrir pour se défendre et pouvoir se reproduire. C'est finalement l'agriculture sédentaire qui domine. Elle a souvent marqué les activités autour d'elle, tel que l'élevage. **Il peut être difficile de remettre en cause tout cet acquis.**

Pour une technologie donnée les besoins de terre sont proportionnels à la population. La réponse à la demande d'une population en croissance (plus tard, pour des besoins commerciaux) et une baisse de la fertilité et de rendements, rendent nécessaire la conquête de nouveaux espaces. Avec une population peu nombreuse et les moyens limités, la forêt a paru longtemps un espace infini et **il y avait peu de raisons de se demander quelles influences les pratiques agricoles pouvaient avoir sur la forêt.** En même temps, la relation à la forêt a tenu un rôle majeur dans la formation de l'imaginaire des hommes depuis leurs premiers ancêtres et donc dans le façonnement des cultures et de la pensée en général³¹. «...Plusieurs travaux récents s'attaquent d'ailleurs aux images puissantes d'une forêt *féminisée* qui est considérée comme dangereuse et difficile à gouverner, mais à la fois vide et prête à se faire pénétrer et valoriser par ceux qui ne la connaissent qu'à peine (Sawyer et Agrawal 1997 ; Slater 2003)...»³².

³⁰ On reconnaît dans les civilisations dites primitives des mécanismes de rejet pour tout comportement perçu comme de nature à remettre en cause la cohésion du groupe. L'homme moderne ne saurait prétendre que cela est chose du passé. Il ne se rend pas compte que ses comportements, son approche à la connaissance et ses connaissances sont encore régis par à un certain nombre de tabous ; tout comme autrefois, on continue de rejeter comme une hérésie ce qui pourrait remettre en cause le consensus, les connaissances généralement acceptées. Le monde scientifique peut-il prétendre y échapper toujours malgré ses efforts? Ce comportement a aussi bien sûr ses justifications positives, notamment comme un frein à la facilité, aux faux raisonnements et au charlatanisme. Il revient aux personnes compétentes de dire s'il est approprié de parler ici de paradigme.

³¹ Harrison, R *Forêts. Essai sur l'imaginaire occidental* Paris, Flammarion Champs 1992

³² Hardin, R *Forêts tropicales - Présentation* vol 29 numéro 1, 2005 in *Anthropologie et Sociétés*

En coupant la forêt, l'homme répond (inconsciemment?) à deux besoins : l'espace et la fertilité. Avec le temps, la fertilité disparaît et l'homme doit continuer à défricher. Il l'a fait jusqu'à ce qu'il trouve et mette en oeuvre des pratiques et des technologies parant à la disparition de la fertilité. L'Éthiopie actuelle en est une illustration particulièrement pathétique. Sa déforestation accélérée, phénomène pour lequel les conflits sont une cause importante, fait que le territoire produit annuellement une *biomasse* bien inférieure à ce qu'il produisait avec 75% de superficie boisée au début du XXe siècle. Depuis, la population a plus que doublé. Le climat intervient peu et c'est une variable peu influençable comparée aux techniques d'exploitation du milieu. Cette évolution va-t-elle se généraliser en Afrique (puis ailleurs) avec l'augmentation de population ? **Une meilleure connaissance des mécanismes de régénération du milieu par les systèmes forestiers apporterait certainement des éléments nouveaux au débat.**

Il serait intéressant de rechercher ou compléter les travaux d'anthropologie, comme ceux cités ci-dessus, afin de vérifier comment la forêt en re-colonisant (parfois de façon très agressive) les espaces des civilisations disparues a pu affecter l'évolution de la culture et du comportement de l'homme.

Résultats obtenus par l'homme avec ses approches

L'homme est parvenu (à peu près) à ses fins (combler ses besoins) avec les techniques qu'il a élaborées d'abord empiriquement puis avec l'aide de la science. **De ce côté, il n'a pas de raisons de remettre en cause des visions ou des explications** qui lui ont permis de les mettre au point et de satisfaire ses désirs. L'agriculture moderne connaît des succès indéniables, à tel point que ses savoirs-faire s'imposent comme la référence du progrès dans l'utilisation des ressources naturelles biologiques. **C'est plutôt l'extension des bénéfiques à des régions démunies qui est souhaitée.** Ces techniques se caractérisent par la modification croissante du milieu pour améliorer l'efficacité des actions de l'homme ou pour en corriger les effets négatifs. Elles consistent en plantations monospécifiques, en travail intensif du sol, en apports élevés d'engrais de synthèse ou autres amendements, en recours aux *pesticides* pour contrôler les parasites plus fréquents. L'exemple type en est le champ de maïs ou de soja. En ce sens, peu de choses séparent une plantation de pommiers, de peupliers, de caféiers, d'hévéa ou de palmiers à huile d'un champ de maïs. La même approche s'est imposée sous les tropiques.. On peut parler d'*artificialisation*, au sens étymologique du terme : résultat de l'activité de l'homme. Les promoteurs de technologies agricoles alternatives travaillent à démontrer qu'il pourrait en être autrement.

Pour un certain nombre d'entre elles du moins, si de telles pratiques sont devenues nécessaires c'est qu'il faut remplacer quelque chose qui existe dans la nature mais que l'agriculture modifie ou même empêche de se produire. En effet, pour prospérer la nature fait face aux mêmes problèmes de gestion de la fertilité que l'homme et a élaboré ses propres solutions. Pourquoi l'homme a-t-il *inventé* des solutions à base d'*artificialisation*³³ ? On aurait pu imaginer qu'alerté

³³ Le labour est considéré comme une des pratiques fondatrices de l'agriculture : c'est un exemple de pratique destinée à influencer la fertilité. Elle a été jugée suffisamment positive pour être perfectionnée et

par tout ce qui l'entourait et qui a été relevé dans les pages précédentes il aurait tenté de s'inspirer plus systématiquement des solutions de la nature ? C'est ce qu'il fait à l'occasion dans bien des domaines, même à l'époque de la haute technologie, mais pas encore en agriculture.

Avec sa position victorieuse et dominante l'agriculture moderne, analyse, évalue et occulte les autres formes d'agriculture selon ses propres critères et connaissances. Pourtant depuis longtemps, ethnologues et anthropologues³⁴ (et plus récemment des équipes pluridisciplinaires) décrivent et tentent de faire reconnaître ces approches associées à des savoirs traditionnels qui reposent sur des bases différentes. Certaines ont une efficacité économique et écologique étonnante en conditions tropicales par comparaison à l'agriculture moderne. En simplifiant, on pourrait dire que cette dernière traite chaque champ comme une unité isolée alors que les autres le traitent en relation avec des espaces avoisinants. L'agriculture moderne fonctionne selon une logique linéaire et évacue les concepts d'*hortus*, *ager*, *saltus* utilisés pour décrire les autres fonctionnant selon une logique systémique où les échanges entre les éléments jouent les rôles principaux. On la compare trop facilement aux agricultures itinérantes ou sur brûlis avec des systèmes culturaux simples : cultures pures en succession ou association de 2 ou 3 espèces sans amendements ni fumure (naturels ou chimiques), avec dans la presque totalité des cas des résultats agricoles médiocres et un impact négatif sur l'environnement dès que la pression s'intensifie. Comparées aux champs modernes³⁵, avec leur impact visuel et l'importance des dégâts occasionnés ainsi que de la faiblesse de leurs productions il est facile de faire l'amalgame et de qualifier d'arriérées toutes les formes traditionnelles³⁶.

On peut comprendre que l'homme souhaite se tourner vers une formule qui procure des avantages immédiats plus nombreux que des formules alternatives empiriques plus contraignantes. Ces alternatives ont leur justification et leur intérêt démontrés : leur stabilité et leur résilience, leur productivité (biologique, sinon, économique) sous estimée, bilan entropique... Les pratiques correspondantes sont de mieux en mieux décrites mais là encore, les mécanismes biologiques fondamentaux qui régissent les propriétés de ces systèmes demeurent dans l'ombre.

L'auteur note que si dans les pratiques de l'agriculture moderniste le sol est traité comme support plus ou moins inerte, dans les travaux sur les agricultures traditionnelles le sol est le plus souvent à peine mentionné, sinon de façon très *imagée* ou pour ce qu'on y apporte : dans les deux cas pourtant c'est là que se passent la majorité des échanges entre les composantes de l'écosystème.

retenue pendant des générations. Plus récemment elle est remise en cause principalement sur la base de raisonnements et considérations liés à la biologie des sols.

³⁴ Hardin, R *Forêts tropicales - Présentation* vol 29 numéro 1, 2005 in *Anthropologie et Sociétés*

³⁵ Michon, G. *Domesticating forests: How farmers manage forest resources* Institut de Recherche pour le Développement ISBN : 2-7099-1554-5, Center for International Forestry Research : ISBN : 979-3361-65-4 The World Agroforestry Centre : ISBN : 979-3198-22-2

³⁶ L'auteur se rend bien compte des simplifications extrêmes de ces présentations, nécessaires dans un travail de synthèse couvrant un large spectre de réflexions. Dans ce débat Il faudrait aussi situer les alternatives modernes : agriculture biologique, biodynamique...

On remarquera aussi par exemple que le compostage en faveur dans les techniques alternatives n'est pas une situation courante dans la nature, sans que cela exclue son intérêt.

Complexité des phénomènes à étudier

L'importance de la biodiversité convainc progressivement les observateurs que les *recettes technologiques* ne font que remplacer des phénomènes complexes d'échanges et d'équilibres **où elle joue un rôle qui reste à découvrir**. Le choix de *l'artificialisation* peut s'expliquer par le fait que l'élaboration de solutions alternatives efficaces dépend de circonstances ou d'outils pendant longtemps non disponibles. Les explications suivantes peuvent être proposées :

Une démarche empirique, désigné par *savoir traditionnel*, a permis des avancées sur bien des sujets d'apparence tout aussi complexe que la fertilité : la sélection massale des semences ou des animaux en est un exemple. Pour un bon nombre de cas, la science les a ultérieurement expliqués en découvrant les lois et les principes sous-jacents,

Il fallait disposer de concepts, de méthodes et d'outils d'exploration qui n'étaient pas disponibles : il n'était pas si facile de découvrir et expliquer les mécanismes de la fertilité uniquement par empirisme et sans le secours de ces outils et concepts,

Peut-être était-il tout simplement difficile de concevoir qu'il fallait aller chercher des réponses au cœur même de ce que l'on combattait : la forêt,

La *puissance* du sol repose sur son fonctionnement systémique dont la complexité est révélée par l'extraordinaire diversité des êtres vivants qui s'y côtoient : la science moderne est mal armée pour étudier les systèmes complexes³⁷. La venue de l'informatique ouvre progressivement des portes prometteuses à l'analyse systémique.

Difficultés dans l'acquisition des connaissances

La question épistémologique doit inévitablement être soulevée. L'auteur ne voudrait pas s'aventurer trop sur ce terrain riche en controverses. Certaines questions mériteraient cependant d'être abordées sous cet angle³⁸. Par exemple, l'évidence des différences *forêt-agriculture* / *néguentropie-entropie* / *cycles correspondants*, est admise comme un fait inéluctable³⁹.

³⁷ de Rosnay, J. *Le microscope* coll. Points, Édition du seuil

³⁸ - Kuhn, T. *La structure des révolutions scientifiques* Paris Flammarion Champs, 1983

- Bachelard, G *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*

³⁹ Pourtant, si une telle opposition était confirmée, avec l'extension des surfaces mise en culture il faudrait, par exemple, se résoudre à voir la vie, humaine au moins, disparaître de la surface la terre... ce qui serait un renversement total dans le cours de son évolution depuis son apparition, à moins que l'action de l'homme ne soit suffisante pour inverser la mécanique à l'œuvre depuis 4 milliards d'années.

Les termes employés à propos de la matière organique, tels que : décomposition, dégradation, pourriture, débris, déchets, détritiques... ont une connotation péjorative marquée et tendent à évacuer le questionnement. C'est pourtant un vocabulaire courant dans les publications *scientifiques* sur le sujet. Le terme *minéralisation* se concentre sur une étape particulière d'un cycle qu'il serait beaucoup plus approprié de considérer dans sa totalité et d'appeler *transformation* biologique ou *biotransformation*. Cette terminologie représente plus précisément la nature des phénomènes et il a l'avantage de susciter la curiosité et l'interrogation. Dans le domaine de la fertilité des sols agricoles il semble y avoir comme une *évidence* sous-jacente : dans le processus de production, la terre *donne* une récolte, comme si on lui prenait quelque chose. Il faut donc lui rendre pour qu'elle donne à nouveau : on parle de principe de restitutions organiques et de restitutions minérales. Cette représentation du fonctionnement de la fertilité est le fait d'une compréhension de type linéaire et d'une analyse mono-factorielle des faits. Dans la réalité de la nature, le fonctionnement des mécanismes régissant la fertilité est de type systémique. Les systèmes complexes demeurent un défi pour la recherche. L'auteur y voit la conséquence directe du biais anthropomorphique des connaissances et de la vision minérale de la nutrition des plantes telle qu'elle s'est imposée en interprétation des travaux de Von Liebig et de ses successeurs.

Cette représentation de la réalité est en contradiction avec la réalité elle-même telle qu'il est possible de l'observer dans la nature. En effet, avec pour tout substrat une roche-mère et des emprunts à l'atmosphère, des éléments vivants parviennent à générer des complexes sol-végétation élaborés, parfois très riches si les conditions sont favorables, humidité et température surtout.

C'est ainsi que les sols sont DÉCRITS avec beaucoup de détails, ce qui correspond bien à l'étymologie du mot pédologie. Cette science évolue chaque jour en enrichissant les descriptions disponibles, notamment en accordant de plus en plus d'importance aux constituants vivants, et les solutions taxonomiques y sont multiples. Peut-on parler indifféremment de PÉDOGÉNÈSE au lieu de PÉDOLOGIE ? Scientifiquement, est-ce la même chose ? Avec la place croissante accordée à la biologie, on note bien un rapprochement : les travaux sont encore rares, mais il se fait dans le sens de la pédogénèse. Les quelques chercheurs ou praticiens avec qui ces observations ont été partagées arrivent à la même conclusion. Ceci confirmerait la conviction exprimée ci-dessus sur le besoin d'explications nouvelles et sur les conséquences de cette lacune dans le défi de la gestion des ressources naturelles auquel les terriens sont confrontés, que ce soit dans la marche vers le progrès ou tout simplement pour la survie. **L'exposé fait jusqu'ici démontre que c'est avec raison que l'agronomie et l'agriculture ont préféré employer la terminologie *science du sol* ou *pédologie* et hésité à parler de pédogénèse.**

À l'origine des innovations agricoles, il paraît raisonnable de penser que c'est en procédant par observation que l'homme a choisi progressivement des pratiques dont les résultats dépendaient de données et de lois biophysiques à découvrir. Que savait-il de ces lois et données ? Il paraît tout aussi raisonnable de penser que les critères qu'il utilisait étaient davantage dictés par un ensemble d'interprétations, d'expériences antérieures, de croyances et de valeurs sociales qui lui étaient propres (voir Harrison, R.). L'idée des essais qu'il décidait de tenter ne venait pas exclusivement

de la rationalité. L'étude de telles influences est bien plus difficile : les prémisses et la méthodologie dépendent largement de celui qui conçoit et mène la démarche. Que l'on songe aux débats sur les pouvoirs accordés aux êtres et aux choses, telle l'influence des astres ! Même dans une démarche scientifique il n'est pas toujours facile de déceler et d'extirper ces influences.

Autres considérations

En termes de comparaison d'écosystème, on peut dire que :

- L'agriculture fonctionne d'une façon qu'on pourrait qualifier de linéaire et séquentielle, comparable en bien des points à une chaîne de production industrielle automobile par exemple. Le processus dépend d'intrants externes et la production recherchée s'arrête quand cesse l'apport d'intrants.

- A contrario, la forêt fonctionne de façon circulaire, c'est un système *métastable* et reproductible. Les apports dont elle a besoin se limitent à l'énergie solaire et à l'eau; le reste, soit elle le trouve sur place soit elle le produit elle-même (y compris de nouvelles espèces si on lui en laisse le temps).

«.. les terres agricoles se transforment en forêts équilibrées, mais ne demeurent jamais en terres agricoles équilibrées et productives...»⁴⁰

C'est pour des raisons fortuites, que les connaissances du sol et les techniques qui en sont issues ont été si fructueuses : l'agriculture tropicale existe, elle est multiforme et c'est celle pratiquée par les agriculteurs de ces régions ; l'agronomie tropicale, quant à elle, n'existe pas ou en est à ses balbutiements. Elle n'existe pas tout simplement parce que les concepts et données scientifiques sur lesquels elles devraient reposer restent à découvrir. **Ce que nous appelons actuellement agronomie tropicale n'est en fait qu'une transposition plus ou moins heureuse des concepts et raisonnements qui constituent l'agronomie tempérée**, d'où la productivité incertaine de l'agronomie tropicale⁴¹.

Et de proche en proche il se pourrait bien que les découvertes qu'il faut faire pour générer une véritable agronomie tropicale soient aussi re-fondatrices de l'agronomie en général : peut-on faire un pari ? Ce qu'il faut absolument découvrir pour sortir le Sud de l'impasse remettra peut-être en cause bien des pratiques au Nord ! Pour le plus grand bien de tous.

⁴⁰ Source : correspondance personnelle avec Gilles Lemieux

⁴¹L'agronomie, telle que définie et pratiquée actuellement, a toutes les caractéristiques d'une science appliquée plutôt que celles d'une science fondamentale telle que la physiologie végétale, par exemple. L'agronomie utilise les connaissances des sciences fondamentales et les applique à des conditions variables. On pourrait se demander si on ne fait pas face à une situation comme celle qu'on trouve au départ de toutes les révolutions scientifiques : les doutes émis ici ne trouvent pas leur opposition dans le monde qui nous entoure mais dans les racines mêmes de notre être, dans un refus de considérer autrement notre appartenance à la logique de l'univers. Une telle attitude n'est-elle pas bien plus présente que nous ne voulons bien l'admettre ?

Finalement, l'auteur pense que **l'on manque cruellement de connaissances fondamentales pour expliquer les phénomènes biologiques observés** : l'homme moderne a trouvé des technologies, des *recettes* pour les exploiter, à son profit, mais les faits montrent qu'il en sait peu de la nature réelle des choses. L'auteur est convaincu qu'il faut revoir les concepts à la base de la connaissance du sol, ce qui n'est pas facile. L'hypothèse suivante se justifie : des inexactitudes dans la connaissance de faits fondamentaux de L'écosystème terre expliquent largement l'impuissance actuelle à penser des systèmes moins producteurs d'entropie, et de pollution.

Des systèmes s'inspirant de la forêt, peut-être ? Supposons que soient mieux connus les phénomènes régissant la fertilité des sols forestiers et l'évolution vers un système métastable, reproductible, où la biodiversité va croissante. Pourrait-on imaginer ou inventer des pratiques agricoles utilisant ces connaissances et réduisant les modifications imposées au milieu et la production d'entropie ? Des auteurs font déjà référence plus ou moins à cette idée⁴².

VOIR LES CHOSES DIFFÉREMMENT : LIGNINE ET CHAMPIGNONS, SOCLE DE L'ÉCOSYSTÈME TERRESTRE

Les termes de l'équation

Rappelons l'objet de la présente réflexion : quelle est la nature de la différence entre sols forestiers et sols agricoles? Par quel processus la forêt produit-elle un sol ou régénère-t-elle les sols épuisés ou détruits par l'agriculture? Une telle explication pourrait-elle amener à bouleverser les bases empiriques et scientifiques sur lesquelles l'homme a construit son agriculture?

Les chapitres précédents ont démontré que des insuffisances, voire des incohérences dans la connaissance du sol, empêchent de trouver une explication satisfaisante aux différences entre sols forestiers et sols agricoles. Cette incohérence est encore plus évidente en milieu tropical et avec des conséquences plus graves. Il faut donc trouver des explications et modèles qui rendent compte des faits. Par exemple, ce que nous démontrent les milieux tropicaux c'est que **la fertilité d'un sol à un moment donné est le résultat de son histoire récente plus que de ses caractéristiques physico-chimiques. Les classifications des sols qui ne prennent pas cet aspect en compte ne peuvent représenter la réalité.**

⁴² «Ce système de stabilité, dès lors que les orages ne viennent pas mettre le feu à la forêt, (les orages, certaines fois, mettent le feu à la forêt) et si l'homme ne se mêle pas de cet écosystème là, est extrêmement stable, et c'est cela que nous avons copié et essayé d'adapter aux productions annuelles. »
L'écosystème forestier de la forêt équatoriale ombrophile : conférence de Lucien Séguy avril 2002 Madagascar.

Il n'est pas facile à l'homme de réaliser que la forêt n'est pas simple occupante du sol tel qu'il le connaît et le recherche : **le sol n'existerait pas par lui-même ou serait très différent sans sa forêt**⁴³. Il y a une symbiose entre les deux. Ils forment un système avec des propriétés que l'homme a ignorées à ce jour mais qui devraient l'intéresser. Quand une forêt est coupée, le changement ne se limite pas à remplacer des arbres spontanés par une culture : il y a un changement profond du milieu. À la question « *Connaissons-nous les mécanismes de re-colonisation par la forêt, que ce soit après brûlis tropical ou sur un friche tempéré ?* » il faut répondre : NON. **Nous avons qu'une compréhension très partielle de la façon dont le sol fonctionne.** Par exemple : le sol n'est-il qu'une simple éponge plus ou moins inerte vis-à-vis de l'eau ? Les êtres vivants n'échangeraient-ils pas directement en quantités importantes l'eau de leurs métabolismes ?

Ce qui est acquis pour bâtir une autre vision?

Faits et hypothèses retenus après l'exposé

Il est clair que **l'idée même de *matière organique* et la terminologie qui l'accompagne doivent être revues** : elles sont un obstacle fondamental à la connaissance des phénomènes dans le sol, points de départ de toute vie terrestre. Cette lacune aurait dû être dénoncée depuis longtemps. Il faudra en élaguer tout le contenu anthropologique et lui substituer des notions véritablement scientifiques. On pourrait commencer avec la proposition suivante : appelons *matière organique* (MO) du sol, seulement sa fraction morte (c'est-à-dire, inerte, ayant perdue la capacité de croître ou de se reproduire de façon autonome) issue d'êtres vivants, à l'exclusion de tout ce qui est vivant. Il faudrait alors trouver les moyens de rendre compte de la partie vivante, mouvante certes, mais qui est précisément le premier facteur de transformation de la fraction morte. Il y a là un déficit méthodologique de taille : la présence des nématodes par exemple est difficile à mesurer.

Communément, pour expliquer la régénération des sols par la forêt, on invoque le *compostage* des feuilles restituées au sol⁴⁴. Le compostage réfère à diverses recettes définies dans les pratiques agricoles, basées sur la dégradation accélérée de la *MO*, par des bactéries principalement. Il y a tellement de variables qui interviennent⁴⁵ que les réactions biochimiques

⁴³ On retrouve ici toutes les contradictions et les ambiguïtés dans les relations de l'homme à la forêt. George Harrison en retrace quelques-unes dans son ouvrage, que ce soit en général dans sa préface ou en détail sur des exemples spécifiques dans chacun des chapitres. Harrison, R «*Forêts. Essai sur l'imaginaire occidental*» (Paris, Flammarion Champs 1992)

⁴⁴ Il semble bien que dans le savoir populaire de nos contemporains, il soit communément (et confusément) admis que c'est à travers ce compostage des feuilles que se fasse, avec le temps, une accumulation (de *matière organique*!) qui expliquerait comment la forêt ré-enrichit les sols dégradés. Notons que d'une part cela n'explique toujours pas l'origine de nutriments minéraux au point de départ et d'autre part que si l'explication peut se concevoir en régime tempéré, elle est peu vraisemblable en régime tropical où minéralisation et lessivage sont intenses et les sols souvent moins riches en *Capacité d'échange* des minéraux nutriments.

⁴⁵ Source des matières premières, leurs compositions chimiques, utilisation ou non d'activateurs *biologiques* ou minéraux, température, humidité, tassement, biocénose originelle... . La mise en tas,

sont peu connues dans leurs détails et la *qualité* des composts est très variable. **L'idée principale derrière la pratique du compostage est la maîtrise de la minéralisation conformément aux préceptes de la nutrition minérale des plantes.** Les recettes de compostage privilégient les résidus de récoltes passées comme matières premières.

Dans un couvert forestier, la quantité de matière sèche que les arbres restituent au sol par élagage naturel, des brindilles aux branches, petites et moyennes est bien supérieure à ce qu'ils retournent annuellement par les feuilles⁴⁶. Ceci est sans compter qu'une grande partie de la production des arbres, mal connue, est constituée de racelles qui se renouvellent activement. Les feuilles, qui en forêt, se transforment même durant l'hiver exigent ailleurs qu'au sol des interventions pour *bien composter*.

La question de la composition chimique de ces parties des arbres est un sujet fort complexe et la littérature disponible est rare ou orientée telle qu'elle est difficile à synthétiser⁴⁷. Il y a là matière à un article. Le point important est qu'**en forêt la proportion de lignine et de composés phénoliques restituée au sol priment, alors que l'agriculture tend à éviter ces produits ou recourt à des méthodes éprouvées pour les dégrader rapidement.**

Les biocénoses associées à chaque situation sont aussi différentes. Les populations sont plus nombreuses et plus variées en forêt. Les interventions mécaniques et chimiques de la modernisation accroissent les différences. Cette baisse de biodiversité est un sujet qui occupe le devant de la scène dans le débat public sur le développement et l'agriculture *durables*.

Il s'ensuit que ce qui se passe dans le sol, que ce soit en agriculture s'il y a enfouissement direct de résidus, mais encore plus en forêt avec ce que les arbres retournent au sol, est différent du compostage habituel dans une perspective de gestion de la fertilité. Il faut en tirer les conséquences au-delà de la nutrition minérale des plantes.

Il a unanimité pour reconnaître qu'**une biodiversité élevée est une caractéristique des écosystèmes en bonne santé**⁴⁸ et autorise une production soutenue et économique ; c'est aussi une observation commune que les techniques actuelles de production entraînent une diminution de la biodiversité. L'homme fait donc face à un dilemme entre biodiversité et production. C'est

l'enfouissement, l'arrosage, l'ensemencement avec du *compost mûr* ou des bactéries favorise l'activité bactérienne.

⁴⁶ Jusqu'au dixième? : l'auteur est à la recherche de travaux qui se seraient penchés sur ce sujet et auraient proposé des données chiffrées.

⁴⁷ Il y a par exemple tous les processus de migration de certains éléments, qui se produisent dans la phase de dépérissement de feuilles, des rameaux et des racelles.

⁴⁸ Système en bonne santé : équilibre auto stable dès lors qu'il reçoit énergie solaire et eau, ayant une résilience élevée aux stress (manque d'eau, attaques parasitaires), biodiversité élevée et augmentant lentement, y compris jusqu'à l'apparition de nouvelles espèces occupant toute nouvelle niche écologique apparaissant. Pour être auto-stable un système doit disposer en lui-même de l'énergie et de l'information qui lui permettent de se reconstituer : la forêt répond à ce critère, pas l'agriculture.

d'ailleurs un des piliers du débat entre l'agriculture moderne et les alternatives *biologiques* ou *organiques*.

La dynamique des écosystèmes des sols agricoles est basée sur l'activité bactérienne⁴⁹ alors que celle des écosystèmes des sols forestiers est dominée par les champignons. Les habitudes et les perceptions sont si solidement ancrées que même en agriculture alternative le compostage réfère encore principalement à l'activité bactérienne.

La lignine⁵⁰

L'importance potentielle de la lignine dans la vie du sol peut déjà être soupçonnée du fait que la biomasse cumulée de la cellulose et la lignine représente environ 70% de la biomasse totale de la biosphère. De ces deux composées de base des parois des cellules végétales, la cellulose est la plus répandue. Elle est facilement transformée, surtout en produits plus simples, soit dans des réactions physiques ou chimiques, soit par la biocénose du sol qui l'utilise comme source d'énergie.. Contrairement à la lignine, la cellulose donne des humus peu stables dans le sol ou disparaît vite. La lignine est un agent liant et donne la rigidité aux parois des cellules. Aussi paradoxal que cela puisse paraître, et malgré leur abondance dans la biosphère, les biotransformations que ces deux corps subissent en arrivant au sol sont mal connues, surtout pour la lignine. Ils peuvent se recombinaison de diverses façons durant les biotransformations, mais là encore cela est mal connu.

C'est une expérience étonnante que de fouiller la littérature sur un produit aussi courant que la lignine. On en connaît moins la synthèse par les plantes que celle de la cellulose liée à la photosynthèse. On accorde peu de valeur à la lignine et en pratique, on cherche à l'éliminer⁵¹, comme dans l'industrie papetière, mais aussi en agriculture où elle est décrite comme de la *matière organique de faible qualité*. **Pourtant la lignine a un certain nombre de propriétés qui lui donne un rôle fondamental dans le fonctionnement de la biosphère.** Des documents de vulgarisation affirment que « le rendement en humus de la *matière organique* dépend de sa richesse en azote et en lignine et du type de sol ». Le paradoxe tient à l'importance attachée à la minéralisation comme expression de la fertilité. C'est la lignine qui permet aux arbres d'avoir un port érigé durablement et pouvant atteindre les dimensions que l'on connaît même si on en trouve dans la plupart des autres végétaux, (la formule chimique varie). Il n'y a que peu d'espèces de la biocénose qui puissent la transformer. Par rapport à la plupart de ces espèces, la lignine apparaît

⁴⁹ C'est bien principalement à l'activité bactérienne qu'on réfère en microbiologie des sols, et les raisonnements concernant la nutrition des plantes - base de l'activité agricole – tournent majoritairement autour de la minéralisation par les bactéries.

⁵⁰ Deux exemples d'études qui montrent la complexité des phénomènes qui interviennent :
Dégradation des litières méditerranéennes http://www.imep-cnrs.com/pages/MB_degr.htm
Leaf litter chemistry controls on decomposition of Pacific Northwest trees and woody shrubs http://pubs.nrc-cnrc.gc.ca/cgi-bin/rp/rp2_abst_e?cjfr_x04-089_34_ns_nf_cjfr10-04

⁵¹ Des laboratoires travaillent activement à la création d'arbres OGM qui contiendraient moins de lignine pour réduire les coûts de production de la pâte à papier.

comme une sorte d'antibiotique au sens étymologique du mot. Sans cette propriété, les troncs d'arbres s'affaîsseraient rapidement. La transformation dans le sol est lente, mais donne des humus plus durables.

Chimiquement, la lignine appartient à la famille des polyphénols dont il existe plusieurs millions de composés, ce qui en fait un groupe souple mais difficile à étudier. Même le processus de synthèse de la lignine est encore objet de débats. **On découvre un peu plus chaque jour la variété des enzymes, produites par la biocénose et associées aux polyphénols. Les enzymes, interviennent dans la transformation des polyphénols et ensemble jouent un rôle dans la mobilisation et l'utilisation des minéraux essentiels.** Ce point est encore controversé : l'extrait d'article suivant en donne un exemple et les portes qu'il ouvre justifient sa présence dans le texte. (traduction ci-après)

« The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling.⁵².

Interspecific variation in polyphenol production by plants has been interpreted in terms of defense against herbivores. Several recent lines of evidence suggest that polyphenols also influence the pools and fluxes of inorganic and organic soil nutrients. Such effects could have far-ranging consequences for nutrient competition among and between plants and microbes, and for ecosystem nutrient cycling and retention. The significance of polyphenols for nutrient cycling and plant productivity is still uncertain, but it could provide an alternative or complementary explanation for the variability in polyphenol production by plants. »

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=10802549&dopt=Abstract

(trad : Le rôle des polyphénols dans le cycle des nutriments de l'écosystème terrestre.

La variation interspécifique de la production de polyphénols par les plantes a été interprétée comme une défense possible contre les herbivores. Plusieurs articles récents suggèrent que les polyphénols influencent aussi les réserves et les flux des nutriments organiques et inorganiques du sol. De tels effets pourraient avoir des conséquences bien plus grandes sur la compétition pour les nutriments entre et parmi les plantes et les microbes, ainsi que pour les cycles des nutriments et leur rétention. L'importance des polyphénols pour les cycles des nutriments et pour la productivité des plantes est encore incertaine, mais elle pourrait fournir une alternative ou une complémentarité à l'explication de la variabilité de la production des polyphénols par les plantes.

Cela commence à être connu pour le phosphore. Le rôle de la minéralisation est tellement une certitude pour expliquer la dynamique de l'azote et pour raisonner les applications que les questions peinent à voir le jour. La situation est vraisemblablement comparable pour les éléments secondaires tels le soufre, le fer... La richesse de formules et d'enzymes associées aux polyphénols leur font aussi vraisemblablement jouer un rôle dans les phénomènes énergétiques

⁵² Hättenschwiler, S., Vitousek, P. *The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling*. Ce texte ouvre une porte fondamentale: les quatre premiers paragraphes sont reproduits en annexe.

des réactions biochimiques. Certaines espèces d'arbres ont une production enzymatique plus diversifiée que d'autres et il est plausible que cela intervient dans leur capacité à coloniser ou à s'imposer dans leur milieu. Les lignines des résineux (gymnosperme) et celle des feuillus sont différentes. Les résineux ont tendance à éliminer les autres plantes : les boisés de résineux ont une flore pauvre. Les feuillus au contraire favorisent une flore variée. Il faudrait encore des recherches pour confirmer ou infirmer le rôle que peuvent jouer les polyphénols correspondants dans cette situation⁵³.

Il ne vient pas à l'idée de conseiller d'utiliser du bois de tronc ou des branches maîtresses pour le compostage, mais l'utilisation de broussailles et de bois de taille apparaissent convenables sous certaines conditions⁵⁴ : cela paraît évident puisque, par expérience cela fonctionne. Mais une évidence n'est pas une explication. La lignine des grosses branches et des troncs (bois caulinaires) est très polymérisée alors que celle des rameaux, des radicelles et des feuilles l'est peu⁵⁵. De plus les protéines en ont presque disparues, comme le montre le rapport carbone/azote (C/N), contrairement à ce qui se passe dans les rameaux, les radicelles et les feuilles. **L'association de protéines et de lignine, voire d'autres composés, y modifient radicalement les possibilités d'utilisation par la biocénose.** Ce n'est pas seulement parce que le bois caulinaires est plus compact si sa transformation dans le sol est plus lente que celle des branchages : l'expérience montre que le bois de tronc réduit en copeaux fins et épandu en paillis est transformé plus lentement que des branchages en fragments de même calibre. Si une section de tronc est mise en contact avec le sol les différents anneaux ne se transforment pas à la même vitesse, ni de la même façon. Est-ce une raison pour laquelle les paysagistes préfèrent le bois caulinaires ou l'écorce en copeaux à des broyats de branchages ?

Toutes ces observations portent à croire que la lignine restituée au sol est la matière première de la pédogénèse et que les différentes parties des arbres ne sont pas équivalentes.

Avec l'accumulation des effets négatifs des technologies il vaudrait la peine de reconsidérer la connaissance du sol et de la lignine dans une perspective évolutionniste ? Si l'homme la considère comme un déchet dont il peut se débarrasser sans conséquence, ses technologies sont très éloignées des mécanismes à l'œuvre dans l'environnement, voire à contre sens. Dans l'environnement les *produits*⁵⁶ de l'activité d'une espèce vivante sont une *opportunité écologique* pour d'autres. Il serait hasardeux de s'aventurer sur le terrain de la signification évolutive, darwinienne, de l'apparition de la lignine, et il serait préférable d'avoir un débat d'experts. Néanmoins, en considérant les propriétés énumérées ci-dessus, il paraît raisonnable d'émettre

⁵³ Voloshchuk, N. *Les mycormycètes des BRF de feuillus et leurs propriétés écobiologiques sur les podzols de la steppe forestière nordique d'Ukraine. Forêt expérimentale de Boyarska.* Dép. De Phytopathologie – Université Nationale d'Ukraine. Trad. Gilles Lemieux publication n°109 du groupe de coordination des bois raméaux – Université Laval.

⁵⁴ Voir par exemple : Soltner, D. *Les bases de la production végétale Tome1 le sol et son amélioration* 2003 23me édition. Collection Sciences et techniques agricoles. P.301 et p.324

⁵⁵ D'où l'hypothèse qu'elle est plus aisément transformable, chimiquement ou biologiquement.

⁵⁶ C'est à dessein et pour sa connotation neutre que le mot *produit* est utilisé plutôt que *déchet*.

l'hypothèse que la lignine représente un avantage évolutif marqué⁵⁷, qu'elle est une solution très efficace avec ses propriétés à la fois mécaniques, biologiques et chimiques. La lignine a les qualités de ses défauts : la nature qui sait s'arranger avec ses contraintes en tire bien des avantages. Il faut lui accorder la place qui lui revient dans le fonctionnement de l'écosystème.

Les champignons (Fongus)

Les champignons constituent un règne très varié puisqu'il inclut les levures et les moisissures ; la façon de les classer évolue avec les découvertes de la génétique et de la physiologie. Néanmoins, les livres de vulgarisation générale et les manuels enseignent que *les champignons sont le plus important des agents de décomposition du bois*. Là aussi, connaître la place des champignons dans l'évolution peut aider à comprendre la relation bien particulière entre lignine et champignons. Toutefois, les connaissances et les recherches accumulées ne permettent pas encore de retracer les relations entre leurs apparitions. Les paléobotanistes déduisent de leurs observations et analyses des remarques et posent des questions ouvrant la porte à des réponses. Les champignons sont apparus très tôt parmi les êtres vivants comme le démontre les travaux de mycologie marine. Près de 80% des plantes terrestres ont des mycorhizes. Devant cette constance, certains auteurs suggèrent que les champignons ont joué un rôle dans l'apparition des racines lors de la colonisation des milieux terrestres par les plantes, peut-être même auraient-ils joué un rôle de racine dans certaines associations comme les lichens^{58 59}. Les premières espèces à s'aventurer hors des domaines liquides étaient vraisemblablement les lichens, symbiose de champignons et d'algues : capables de photosynthèse, les algues stockent l'énergie solaire mais, ne disposant pas de vraies racines, échangent avec les champignons les minéraux ou les composés que ceux-ci sont aptes à capter ou produire. Le rôle important des champignons dans la transformation de la lignine est donc très ancien.

Comme la lignine, les champignons ont des propriétés et caractéristiques uniques⁶⁰, certaines en relation avec la transformation de la lignine :

⁵⁷ Comme l'homme et les êtres vivants, les espèces naissent, vivent et meurent, durant de quelques dizaines de milliers à plusieurs millions d'années. La lignine est toujours présente.

⁵⁸ Abedon, S.T. *Supplemental lecture Chapter title: Evolution of Plants* (97/05/19 update) <http://www.mansfield.ohio-state.edu/~sabedon/biol3060.htm> (extrait 2005 12 09)

⁵⁹ Hibbett D. S., Binder, M. *Evolution of Marine Mushrooms* Biology Department, Clark University, Mas. 01610 <http://www.biolbull.org/cgi/content/full/201/3/319> (extrait 2005 12 09)

⁶⁰ **Les premières flores terrestres du Dévonien inférieur**

Parmi ces flores, on peut citer celle de "Rhynie" en référence au très riche gisement datant du Dévonien basal découvert en Écosse dans la région de Rhynie.

Les fossiles très bien conservés (on distingue même les cellules) permettent de reconstituer un véritable écosystème terrestre abritant non seulement de nombreuses plantes, mais aussi des champignons et des animaux (essentiellement des vers de type nématodes, des mille-pattes, des acariens, des cloportes, des collemboles et les ancêtres des araignées).

Le paysage (fig. 6) correspondrait à une zone marécageuse et les plantes présentes (des polysporangiophytes non vascularisées et des trachéophytes basales) étaient plus ou moins amphibies ou inféodées à ce milieu humide. On observe dans les axes de certaines espèces (comme *Aglaophyton*) des champignons symbiotiques rappelant les mycorhizes des racines des arbres actuels. Cela indique que les interactions de ce type entre plantes et champignons sont très anciennes et auraient sûrement contribué au développement des plantes hors de l'eau dans un milieu *a priori* austère. Ces flores définissent les plus anciens écosystèmes terrestres plus ou moins complexes avec des producteurs primaires, des champignons saprophytes et parasites, des animaux détritivores et carnivores.

- Étant les transformateurs les plus actifs de la lignine ils sont aussi les producteurs les plus actifs de l'humus stable trouvé en forêt,
- Ils sont sensibles aux conditions d'anaérobiose, et sont peu actifs dans les sols gorgés d'eau : la lignine n'y est pas transformée,
- Ils sont actifs à des températures plus basses que bien des bactéries valorisées par l'agriculture: en forêt durant l'hiver les mycélium continuent de se développer. Leur appareil enzymatique en serait la cause. Dans les conditions comme au Canada, cela explique mieux que le ferait les bactéries pourquoi au printemps la transformation des feuilles, et même des brindilles, est si avancée.
- Aucun représentant de la faune, qu'ils soient micro, méso ou macro ne peut digérer la lignine à partir de ses propres enzymes, mais pour un grand nombre les mycélium sont l'aliment principal. Les plus petits sont les nématodes (ils sont surtout connues comme les espèces alors qu'un grand nombre sont utiles). Avec les champignons eux-mêmes ils servent de nourriture aux micro-acariens et aux collemboles, la strate suivante de la chaîne trophique⁶¹...
- Une partie seulement de l'eau du sol est libre. Le reste est lié plus ou moins fortement aux constituants du sol : les champignons sont davantage capables d'extraire de l'eau fortement liée que les autres éléments vivants, un avantage en conditions arides,
- En région tropicale le bois tombé au sol disparaît rapidement. Il y a un lien avec les termites, eux qui sont surtout connus pour les dégâts qu'ils occasionnent mais qui sont plutôt des auxiliaires indispensables au fonctionnement de l'écosystème. Dans leur classification un groupe est appelé «champignonnistes» parce qu'ils «cultivent» des champignons, et cela à partir de la lignine qu'ils collectent et accumulent dans leurs nids sous forme de boulettes fécales,
- Ce ne seraient pas les termites qui à proprement parler digèreraient la lignine : ils rongent le bois mécaniquement, une partie est transformée de façon encore mal connue dans leurs intestins par les bactéries symbiotiques quoiqu'elles semblent plutôt extraire des composés azotés et conditionner la lignine qui sera ensuite transformée par les champignons ailleurs dans le nid, là où les fèces seront accumulées,
- Il est sûr que la plus grande partie des rapports entre la lignine et les champignons reste à découvrir mais les éléments dont on dispose sont suffisants pour affirmer que ces rapports ont un rôle fondamental dans le fonctionnement de l'écosystème vu l'abondance de la lignine,
- Comme la plupart des êtres vivants, les champignons sont de véritables usines enzymatiques. Leur production est déjà largement mise à contribution par la science appliquée et la technologie, et de nombreux laboratoires, universitaires ou privés, s'y intéressent de près en vue d'y découvrir des molécules nouvelles à usages divers, mais le plus souvent commerciaux,
- Dans une réflexion darwinienne, en dehors de toute portée anthropocentrique, la richesse enzymatique des champignons doit avoir une signification : si elle s'est imposée et

Extrait de : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/chap2/dubuisson.html> (2005 12 07)

⁶¹ On peut observer que certaines espèces de collemboles sont aériens et «broutent» les mycélium et les spores de champignons de la tavelure du pommier par exemple.

diversifiée à ce point c'est qu'elle remplit une fonction qui représente un avantage majeur pour la nature en termes d'évolution. En rapport avec la présente réflexion, on retiendra que c'est en forêt que cette capacité de transformation trouve son épanouissement le plus grand.

Tous les éléments sont réunis pour fournir une explication des différences profondes de nature entre sols agricoles et sols forestiers: pourquoi et comment les uns produisent de l'entropie alors que les autres produisent de la négentropie et en corollaire, la biodiversité? Une énumération de propriétés et d'observations ne saurait tenir lieu de raisonnement ou d'argumentation, cependant, elles rendent certaines hypothèses plausibles.

Une hypothèse et une proposition

(Ou : l'œuf de Christophe Colomb?)

La conclusion de cette présentation depuis «les termes de l'équation» est que lignine-fongus constitue un binôme très efficace. **Une hypothèse plausible de ce qui se passe dans les sols forestiers est que les éléments de départ des processus de pédogénèse sont, d'une part le complexe lignines-protéines constituant les bois des rameaux et des racelles ainsi que les feuilles retournant au sol et d'autre par un éventail de champignons pour lesquels ces matériaux constituent l'équivalent d'un bouillon de culture.**

À la suite de ces observations on voit combien c'est une grossière simplification, ou plutôt une erreur, que d'assimiler le travail des champignons à une variante des mécanismes de compostage : le compostage prépare la libération d'éléments minéraux mais n'initie pas une chaîne trophique complexe capable de s'autoréguler et de se régénérer comme en forêt. En fait, ce «réflexe matière organique et compostage» est au cœur de l'impossibilité à considérer en eux-mêmes les mécanismes par lesquels la forêt régénère les sols et restaure la fertilité alors que l'agriculture l'épuise. Une fois encore on a à faire à une démarche très anthropocentrique, dans un domaine dont on s'aperçoit, un peu plus chaque jour, qu'on ignore les lois essentielles : la science fondamentale apparaît là très en retard sur la science appliquée et sur la technologie. Des découvertes comme celle des aquaporines commencent à lever le voile.

C'est dans les travaux et les conclusions du professeur Gilles Lemieux⁶² de la faculté de foresterie de l'université Laval à Québec, et de ses collaborateurs, que l'auteur a trouvé la base et les principes qui permettent à ses propres observations, à ses analyses et à ses questions exposées jusqu'ici d'être réconciliées dans une explication cohérente. Le professeur Lemieux poursuit ses travaux depuis plus de 25 ans maintenant, et cela malgré l'indifférence rencontrée. Les motifs pourraient faire l'objet d'une réflexion fructueuse.

⁶² La liste complète des publications est accessible, soit sur le site originel du Prof. Lemieux <http://www.sbf.ulaval.ca/brf/default.htm> soit sur un site très complet, élaboré et tenu à jour par M. Benoît Noël <http://www.aggra.org>. Certaines des publications y sont accessibles en ligne.

C'est dans la compréhension (non anthropocentrique) des processus de la **pédogénèse** que peut se trouver la réponse à l'interpellation, et non dans les travaux, d'abord descriptifs, de la **pédologie**⁶³. Cette présentation du professeur Lemieux est tout à fait cohérente avec la perspective évolutionniste à laquelle il a été fait appel dans les pages qui précède. Le respect de cette cohérence est un critère essentiel d'une part pour juger de la validité d'une hypothèse et d'autre part pour évaluer toute solution qui pourrait être proposée⁶⁴ : la version moderniste de l'agriculture ne répond pas à ce critère. Voici La présentation synthétique qu'il en fait lui-même dans une de ses publications :

RÉSUMÉ

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

⁶³ Toutes proportions gardées, il y a la même relation entre les deux qu'entre la génétique et la botanique.

⁶⁴ L'énergie est un autre critère, tout aussi discriminant que la présente réflexion aurait pu retenir comme fil directeur.

Lemieux, G. *Seule la vie du sol est le siège de la fertilité: le bois raméal en est la clef*
Publication N°44. mars 1994. édité par le Groupe de Coordination sur les Bois
Raméaux. <http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>

Une des conclusions qui s'imposent c'est que les polyphénols et toute leur chimie jouent un rôle fondamental et jusque là très sous-estimé dans le démarrage et la régulation des processus vitaux de tout l'écosystème terrestre. Ils devront être au cœur des études de pédogénèse.

À la suite de Gilles Lemieux, abandonnant la béquille de la *MO* pour expliquer le fonctionnement de l'écosystème sol, l'auteur reprend ici ce qu'il pense être les éléments cruciaux et les mécanismes fondamentaux des réponses aux questions posées dans cet article. Malgré toute la complexité de la situation et le grand nombre d'inconnues, quand vient le moment d'exposer en détail le fil conducteur de la vision élaborée par Gilles Lemieux cela peut être introduit assez simplement :

- En forêt, les champignons colonisent rapidement branchages, brindilles et feuilles tombés au sol et en transformant la lignine décrite : Ils sont les seuls à pouvoir le faire en quantités considérables, dans les conditions édaphiques courantes, cela grâce à leur système enzymatique particulier⁶⁵,
- En régions tropicales, les conditions à la surface du sol sont très défavorables aux champignons. Les termites, et peut-être d'autres insectes, jouent alors un rôle capital pour que les fungus aient accès à ces matériaux
- D'où cette conclusion fondamentale : la clé de voûte de la pédogénèse (donc en forêt) est la lignine (les polyphénols) et les champignons capables de la transformer. Avec l'intervention humaine, en agriculture, la lignine est exclue et ce sont des mécanismes différents qui prévalent⁶⁶,
- Ces champignons trouvent dans la lignine et ses sous-produits, à la fois la source d'énergie et certains des nutriments dont ils ont besoin pour leur croissance et multiplication. En particulier, des travaux⁶⁷ ont montré qu'ils sont capables de mobiliser l'azote associé à la lignine dont ils ont besoin, comme tous les autres êtres vivants,

⁶⁵ Cette transformation n'a pas lieu tant que les branches, et le bois en général, sont sur pied où on ne retrouve les conditions édaphiques qui lui sont nécessaires.

⁶⁶ «...Des chercheurs au Brésil ont mené récemment une expérience curieuse. Ils ont prélevé un bloc de 25 x 25 cm de terre de pâturage dégradée et l'ont enfoui dans une forêt voisine, et à sa place ont mis un bloc de la même taille de sol forestier. En moins d'un an, la structure des agrégats de l'échantillon de pâturage avait été complètement restaurée à des niveaux caractéristiques des forêts naturelles, alors que l'échantillon "étranger" de sol forestier s'était tassé et avait perdu en grande partie sa porosité. [extrait le 30 10 2005 du site :

http://www.pour-les-animaux.de/la_vie_du%20_sol.html ...»]

⁶⁷ Exemple : Dill, I, Kraepelin, U. Schultze, U. Reh, U. and Weissleder, I. (1987) "The role of nitrogen in white- brown-rot decay: presentation of an ecological model" Les colloques de l'INRA, n° 40, Paris -Lignin enzymatic and microbial degradation. 4 pages

- Il est probable que d'une façon ou d'une autre ils fixent ou participent à la fixation de l'azote gazeux, mais c'est vraisemblablement au niveau du cyclage entre constituants de la biocénose que se passent les phénomènes importants,
- La transformation de la lignine est d'autant plus active que les branches sont jeunes et fraîches : ce changement de rendement s'explique par la différence quantitative et qualitative du contenu azoté du substrat et la synergie qui semble s'installer avec le reste de la biocénose,
- Très tôt dans le processus, d'autres formes de vie participent à ces transformations, et le processus se complexifie rapidement. Par exemple, les mycéliums sont des aliments de base pour une variété d'espèces animales qui ont elles-mêmes leurs prédateurs,
- De proche en proche, la chaîne trophique se constitue et se referme jusqu'à devenir un système qui est auto-stable dès lors qu'il reçoit l'énergie du soleil à travers la photosynthèse, l'eau et les minéraux élémentaires étant disponibles dans le substrat,
- On est là au cœur des mécanismes de formation de ce qu'il est convenu d'appeler l'humus et l'explication va au-delà de l'habituel «...*l'humus est produit par la transformation de la MO, sous l'action de la microbiologie du sol, le type d'humus produit étant fonction de diverses conditions de milieu, tel le pH...*»
- D'où l'idée, suite à cette découverte, de *mimer* la nature en amendant les sols agricoles avec des branchages pour tenter d'y enclencher les mêmes phénomènes pédogénétiques. Des expériences ont été faites et ont donné des résultats inespérés, autant sur les récoltes que sur l'état du sol. Les branches étaient broyées autant pour des raisons de commodités que pour améliorer le contact avec le sol et faciliter la colonisation par les micro-organismes. **L'équipe a nommé «bois raméal fragmenté» (BRF) ce matériau ainsi préparé.**

[Historiquement le cheminement a commencé au Québec vers 1973 par des essais pour régénérer des sols appauvris, en combinant les aspects intéressants de déchets par ailleurs encombrants : les lisiers de porcs et les branches et broussailles d'élagage sous lignes électriques ou des chantiers de coupe en forêt. Les lisiers apportaient les éléments fertilisants mais avec des effets polluants par lessivage vers les eaux libres et par les odeurs. On espérait profiter des pouvoirs absorbants des branchages pour stabiliser les minéraux et les odeurs. L'idée était de les épandre en association et voir leurs avantages se combiner. Les résultats ont dépassé les espérances, mais étonnamment ils furent les mêmes, voire supérieurs, dans des parties de champs ayant reçu uniquement du bois raméal fragmenté faute de lisier. M. Lemieux mis sur pied des protocoles pour trouver une explication à ces observations, ce qui lui permit d'élaborer la vision de la pédogénèse qu'il propose maintenant et qu'il continue d'approfondir.]

Depuis, des travaux de recherche et les essais ont raffiné les explications et proposé des points de repère pour élaborer des recommandations sur l'usage de BRF en agriculture.

Pour ne pas alourdir le texte cette présentation demeure très synthétique. Le lecteur intéressé par l'étude de l'approche pédogénétique ou par son utilisation pratique pourra se référer aux travaux du professeur Lemieux et des membres de réseau, sur les sites Internet déjà mentionnés. Des lecteurs pourront trouver les recherches et les conclusions critiquables : il est souhaitable qu'il en soit ainsi à condition que des arguments aussi convaincants soient apportés en contrepartie.

L'argumentation de l'exposé démontre que la modicité des ressources jusqu'ici consacrées, comparées à d'autres approches plus populaires, est en grande partie responsable de ces lacunes.

Problématique de mise en œuvre et objections

La présentation de l'approche pédogénétique ci-dessus ouvre la porte à un large questionnement aux niveaux conceptuel et scientifique. La mise en œuvre de la technologie des BRF soulève aussi de nombreuses critiques et des questions qui seront abordées, en commençant par en dresser la liste sur l'impact sur les coûts de production, sur l'utilisation des surfaces, etc. L'examen de ces questions dépassent le cadre du présent exposé. Toutefois, trois objections régulièrement posées par les observateurs méritent d'être envisagées ici: si la pratique de prélever des branches et branchages se généralise, doit-on craindre d'une part un manque de ressources, d'autre part un *déséquilibre* des écosystèmes d'où seront prélevés les BRF, et enfin la méthode peut-elle s'intégrer à l'organisation du travail des agriculteurs?

Y a-t-il assez de ressources pour appliquer la technique à grande échelle? Une épaisseur de 2 à 3 cm semble suffisante pour un apport efficace, soit 200 à 300 m³/ha. Cela est considérable mais est à relativisé grâce aux observations suivantes. Selon les connaissances actuelles, la récupération d'un sol très dégradé requiert une seule application. Ses effets durent plusieurs années : au moins 5 ans, voire plus si les pratiques de gestion sont ajustées avec les notions déduites de la compréhension de la pédogénèse. L'auto-stabilité aidant, des applications périodiques (2 ou 3 ans) de quelques tonnes à l'hectare conviendraient pour maintenir actif et équilibré l'écosystème régénéré. Alternativement, des apports plus modestes mais plus fréquents, de quelques tonnes à l'hectare, peuvent donner de bons résultats.

Considérés comme déchets, les branchages sont peut-être la matière la plus gaspillée par les hommes sur terre: il s'en brûle des millions de tonnes chaque année et cela dans toutes les régions, de différentes façons et pour différentes raisons. Des calculs, évoqués à la récente conférence de Montréal sur le réchauffement de la planète, tendraient à démontrer qu'ensemble, la culture sur brûlis et la déforestation produisent autant de gaz à effet de serre que l'ensemble du parc automobile de la planète. Dans les régions développées, en plus des bois de taille agricole, les bois d'élague urbain, routiers ou de transport d'électricité représentent des quantités importantes surchargent les sites d'enfouissement et accentuent la pollution une fois concentrées. Ces bois sont de plus en plus compostés, ce qui est un progrès mais qui dans une perspective de pédogénèse représente encore un gaspillage. Les haies vives et brise-vent dont la réintroduction est recommandée sont une source potentielle importante. Globalement, le bilan sur les surfaces reste à établir en tenant compte de la probable réduction des rendements sans les doses actuelles d'engrais⁶⁸. En régions tropicales, l'allongement possible des cycles d'utilisation des sols par

⁶⁸ Calculs et expérience en Wallonie montrent que les efforts de collecte donnent des résultats insoupçonnés. Un chiffre de 25 000 ha/an est avancé. Noël, B. *Plus de carbone pour nos sols*. 2005.

réduction des brûlis et les augmentations de rendement prévisibles (au moins pour les cultures vivrières), pourrait en réduire sensiblement les superficies en culture, laissant davantage d'espace à la production de ressources ligneuses : le bilan ne peut y être que positif.

Quel sera l'impact sur les écosystèmes des lieux de prélèvement ? Pour les sites où la matière est brûlée la réponse est simple : au lieu de vider l'espace plus ou moins aveuglément, il devient possible de réduire et de gérer les prélèvements en quantité et qualité, augmentant d'autant la productivité future : l'impact sera positif. Il s'agit principalement des tropiques. Ailleurs, dans les forêts destinées aux productions ligneuses, il est possible de régler les prélèvements sur la capacité de production des sites. Les coupes d'éclaircies ou de nettoyage se font déjà sans altérer la productivité du milieu. Dans de nombreux autres cas il s'agirait d'une récupération ou d'une meilleure valorisation d'une matière destinée à la destruction : élagage urbain, entretien de voirie et lignes électriques, etc. Enfin des aménagements type haies et bosquets trouveraient là une justification supplémentaire, sans compter les situations où des arbres ont un intérêt anti-érosif.

Dans le détail, ces deux évaluations ne sont pas simples. Par exemple, les BRF ne sont pas tous équivalents : les dates de prélèvement et d'application, les espèces prélevées, les sites de prélèvement ainsi que d'autres facteurs, influent sur les résultats⁶⁹. Bien entendu, l'état du sol traité peut modifier les résultats : en sols hydromorphes ou des doses élevées apportées tardivement avant les semis ou plantations ont des effets négatifs, au moins pour un temps. Dans les deux cas, la biocénose n'a pas pu ou n'a pas eu le temps de se développer.

Cette technologie peut-elle trouver sa place dans l'organisation du travail d'une exploitation? Les conditions naturelles et les niveaux technologiques des exploitations étant extrêmement variés d'une région à l'autre du monde les réponses ne peuvent qu'être très variées. Dans les pays industrialisés, à partir du moment où la technologie se justifie, des solutions mécaniques ont déjà pu être conçues pour des défis bien plus compliqués à relever. À l'autre extrême, là où le travail est entièrement manuel d'une part la technologie favorise un étalement des travaux agricoles dans le temps et d'autre part, elle autorise des rendements plus sûrs, plus élevés et moins dépendants des intrants coûteux. La situation est comparable à celle de l'adoption des technologies performantes actuelles dans le Nord ou à celle des technologies d'agriculture de conservation dans le Sud⁷⁰. Le temps et les adaptations avec l'aide des utilisateurs eux-mêmes font la différence, des changements de politiques agricoles aussi parfois.

Centre des technologies agronomiques. Strée. Belgique [En 1999, la Superficie Agricole Utile wallonne atteint 756 559 ha, soit 45 % de la superficie totale de la Région.]

⁶⁹ Il n'y a rien là de mystérieux ou de magique : la composition biochimique des rameaux dépend étroitement de ces données, donc aussi toute l'activité de la biocénose.

⁷⁰ Voir les expériences du Conservation Farming Unit en Zambie, et les autres introductions de l'agriculture de conservation un peu partout.

Discussion et observations complémentaires

L'auteur apporte ici des observations ou des analyses pour enrichir le débat avec des cas existant et des analyses.

- On découvre régulièrement sur le terrain et dans la littérature des pratiques positives reconnues, pour lesquelles on ne dispose que d'explications non confirmées et routinières, faisant le plus souvent appel à la *MO*, et qui sont considérées comme des évidences : la vision pédogénétique ouvrent de nouvelles perspectives et peut leur donner un sens nouveau. Exemples :
 - o l'utilisation du buis et des ronces comme amendement en région de montagne dans les causses,
 - o l'explication de la gestion des chemins creux où sont déposés les élagages des haies et reprise du sol des chemins vers les champs⁷¹,
 - o la rationalité du système bocager dépasse les arguments avancés couramment : les haies retournent aussi une quantité importante de BRF au sol, et ces haies sont des sites privilégiés de pédogénèse,
 - o l'agriculture des *parcs à *Faidherbia albida** du Sahel profite certainement du cycle à contre-saison de cette espèce ainsi que de ses capacités de fixation d'azote en tant que légumineuse. Souvent installée sur des zones de sols légers elle profite aussi des BRF abondants de cette espèce : le fait que ces restitutions stimulent la fixation de l'azote mais surtout le stabilise (quelle qu'en soit l'origine) est peut-être encore plus important. L'hypothèse mériterait des recherches : les zones avoisinantes plantées en Karité ont souvent une fertilité comparable,
 - o dans certains écosystèmes, les conditions de régénération imposent des contraintes. Au Sahel par exemple, il suffit de quelques troupeaux de chèvres en trop pour que la biomasse n'atteigne jamais le niveau qui autoriserait la récupération. Seule une steppe herbeuse parvient à se maintenir, mais il n'y a aucun apport de BRF dans ces conditions,
 - o des observations en apparence anecdotiques peuvent s'avérer révélatrices : le paysan sahélien préfère utiliser les crottes de chèvre plutôt que celles du mouton pour faire ses pépinières. Les régimes alimentaires de ces 2 espèces sont différents : la chèvre fait une grande place aux végétaux ligneux frais et la composition biologique (au-delà de NPK) des fumiers comme leur stabilité sont bien différentes,
 - o Dans certaines régions on utilise à l'occasion des branches hachées en petits morceaux pour faire la litière des animaux quand les pailles viennent à manquer. La prolifération des mouches est alors réduite : les milieux riches en composés phénoliques ne sont pas favorables aux larves. C'est en raison du surcroît de travail que cette pratique n'est pas plus utilisée.

⁷¹ Deux exemple dans des conversations avec M. Alain Bouras, CELA, Université de Grenoble

- Le cas du Striga est intéressant : plante parasite de cultures vivrières importantes des régions semi-arides tels le sorgho, le mil ou le haricot niébé, le striga provoque des baisses de rendements jusqu'à anéantir les récoltes. Des sommes importantes sont investies pour trouver des méthodes de contrôles : variétés résistantes, produits phytosanitaires, méthode de culture... Pourtant, il est d'observation courante que le striga ne sévit que là où la fertilité des sols est très basse : un relèvement de la fertilité est un moyen efficace de lutte. Malheureusement les engrais sont trop coûteux et comme le compost, ils donnent des résultats éphémères : sur terrain fraîchement repris à la forêt le striga est limité mais réapparaît avec la baisse de la fertilité. Que se passerait-il si des pratiques agricoles faisant appel aux principes de pédogénèse maintenaient la fertilité ?
- On observe que dans les sols forestiers où les analyses indiquent un faible taux d'azote minéral la croissance des plantes est pourtant satisfaisante : les observations actuelles accréditeraient l'hypothèse selon laquelle les BRFs peuvent avoir le même impact sur un sol⁷².
- Des travaux dont les conclusions sont encore à confirmer montrent que, dépendamment de la source de lignine (chêne, frêne, érable, peuplier...), les espèces de fungus qui se développent sont différentes : il serait dommage de limiter la portée d'une telle observation qui va bien au-delà de l'intérêt du mycologue amateur.
- Outre les résultats agronomiques et écologiques, les expériences au Sud du Burkina montrent comment les agriculteurs les plus démunis peuvent adopter la technique. Par contre, dans les Niayes du Sénégal, avec des BRF des filaos protégeant la dune côtière, malgré des résultats positifs sur les rendements, sur l'infestation de nématodes et sur la valorisation de l'eau, l'adoption de la technique est faible : convaincus, certains d'entre eux réclament de l'aide en matériel ou des recherches supplémentaires⁷³.

Des conversations avec les pédologues, les agronomes et les forestiers suggèrent que la liste d'exemples semblables est très longue. Il y a une grande quantité de faits, de pratiques, d'observations, d'expériences, de recherches en rapport avec l'écologie au sens large, qui pourraient être revisités et ré-analysés ou réinterprétés avec la grille *pédogénèse basée sur rôle des champignons et la chimie des polyphénols* dont le professeur Gilles Lemieux a découvert les principes essentiels. Il pourrait être fructueux

⁷² . Noël, B. *Plus de carbone pour nos sols*. 2005. Centre des technologies agronomiques. Strée. Belgique p.25-26

⁷³ Commentaires recueillis auprès du professeur Mamadou Seck de l'Université Cheick Anta Diop de Dakar, confirmés par G. Lemieux et d'autres observateurs.

de revoir la littérature avec, en tête, cette conception de la pédogénèse fondée sur les BRF. Heureusement, pour leur plus grand nombre, les observations et les travaux scientifiques accumulés par des générations de chercheurs et de praticiens ne sont pas remis en cause. Au contraire, ces connaissances et ces modèles plus proches de la réalité des phénomènes forment une trame à travers laquelle refaire l'analyse de cet héritage, avec toutes les chances de le rendre plus fécond. Les relectures les plus fructueuses concerneraient certainement nombres de travaux sur l'humus.

Pour conclure : quelques remarques

Est-il encore nécessaire d'ajouter à ce qui est déjà connu du grand public, qu'avec ses interventions massives et brutales tel les engrais, les produits phytosanitaires, les herbicides, l'agriculture modifie et finit par détruire les équilibres évoqués ci-dessus, et ceux-à mêmes qui ont construit et qui restaurent le système d'où l'homme a émergé.

Il est alors justifié de conclure que l'agriculture recourt à des techniques dont les coûts réels échappent à la connaissance. Au vu des conséquences négatives de plus en plus évidentes et dénoncées de ces techniques, on pourrait considérer leur utilisation comme économiquement justifiée mais inacceptable scientifiquement : sans l'intervention de l'homme et de son agriculture de telles conséquences n'existent pas. Y aurait-il des raisons de croire que la physiologie des plantes et les manifestations qui l'entourent soient différentes selon qu'on fait de l'agriculture ou de la forêt ?

Déjà abondamment discutées depuis 20 ans les explications avancées dans cet exposé n'ont pas manqué de faire l'objet d'un véritable déluge d'objections, à commencer par dire que cela n'était pas possible, parce que c'était trop simple, que si c'était si simple quelqu'un y aurait pensé plus tôt. À ce stade de l'exposé, l'auteur se rend bien compte qu'il soulève infiniment plus de questions qu'il ne donne de réponses. Le faisceau d'arguments et de raisonnements qu'il a été possible d'élaborer à partir de ce fil conducteur innovant l'a pourtant convaincu de la justesse mais aussi du caractère indispensable, voire inéluctable de cette remise en cause, pour l'humanité.⁷⁴ C'est justement ce qu'il trouve potentiellement très fécond. Il convient qu'il s'agit d'une description pleine de raccourcis et surtout d'hypothèses *osées*. Néanmoins, les personnes qui ont eu l'occasion de s'intéresser aux BRFs et intègrent dans leurs observations et leurs raisonnements la différence entre compostage bactérien et transformation fongique trouvent qu'il s'agit là d'une explication plus acceptable et prometteuse de la régénération des sols par la forêt, et finalement qu'il y est véritablement question de pédogénèse.

⁷⁴ Il hésite à peine à faire la comparaison avec **la découverte du principe de la vaccination**. La vaccination n'a pas répondu à tous les problèmes en santé : la découverte du rôle de la lignine et des champignons dans la pédogénèse ne solutionnera pas tout de la fertilité. Dans les deux cas pourtant ces découvertes renouvellent singulièrement les approches et remodelent le comportement de l'homme dans son propre environnement.

Fondamentale dans l'écosystème, l'eau a été à peine mentionnée dans l'exposé. Les différentes façons de la considérer en agronomie comme en foresterie sont très mécaniques : le sol y est un réservoir à compartiments. **Il est possible que l'eau la plus importante soit l'eau physiologique, celle qui est présente et circule de cellule en cellule et peut être même directement entre les éléments de la biocénose via les polyphénols**, comme le laisse supposer les travaux des prix Nobel Agre et McKinnon. Ce sujet dépasse les cadres du présent article.

Le volume d'observations, de travaux et surtout d'interrogations nouvelles déjà accumulés sur cette explication de la pédogénèse est considérable, et il resterait beaucoup à exposer. L'examen critique détaillé dépasse les limites de la réflexion du présent manifeste pour un renouvellement de la pensée sur la relation entre les sols et l'écosystème terrestre dont l'homme fait partie. Peut-on considérer le débat comme lancé ?

LECTURES :

Quelques références et lectures pour mieux comprendre la démarche de l'auteur

Pourquoi est-il si important de mieux connaître le sol :

point de vue d'un congrès scientifique

(LIFE IN THE SOIL SOIL BIODIVERSITY: ITS IMPORTANCE TO ECOSYSTEM PROCESSES

Report of a Workshop Held at The Natural History Museum, London, England. August 30-September 1, 1994, [Diana W. Freckman](#), Editor [Natural Resource Ecology Laboratory](#), College of Natural Resources, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523-1499, USA

.....Soils are a critical and dynamic center for the majority of ecosystem processes in both natural and managed ecosystems. Nutrient turnover, nutrient uptake by plants, soil fertility, formation of soil organic matter, nitrogen fixation, methane production, CO₂ production, soil development, and production of organic acids that weather rocks, are all dynamic processes contributing to the sustainability of the planet. Soils are the major global storage reservoir for carbon in the form of organic matter (estimates of about 1500 X 10¹⁵ gC are stored in soils). The living microbes, fungi and invertebrates that comprise the soil food web are responsible for changing carbon and nitrogen through several steps of decomposition to forms available for plant growth, while at the same time contributing to the rate of production and consumption of CO₂, methane, and nitrogen....

....Soils are one of the most poorly researched habitats on earth. The functioning of this thin dark covering on the surface of the earth is vital for the survival of the biosphere in its present form. The impact of burgeoning human populations has destroyed the soil physico-chemical environment and the soil's species through activities such as: inputs of chemicals from the atmosphere, disposal of waste products in soils, ground water contamination, and physical modification or removal of soil by cultivation and erosion. Soil degradation has also resulted in the mobilization of carbon and nitrogen as greenhouse gases forcing climate change.....

....Soil biota remain among the vast unknown life on our planet, a dark frontier, despite their critical importance to understanding ecosystem function. For example, thousands of species of microbes and invertebrates inhabit just a square meter of temperate grassland soil, organisms whose identities and contributions to sustaining our biosphere are largely undiscovered.....

Soil Microarthropod Abundance... and Species Richness in Successional Douglas-fir Forests

Introduction

A healthy and sustainable soil system is the foundation on which the forest stands, and there is growing recognition that soil organisms play vital roles in modifying or even controlling many physical and chemical processes necessary for maintaining a sustainable soil system (Shaw et al. 1991). Yet in many cases, we do not know what species are present in the soil, and we know even less about their ecological roles, or how they respond to different forest management practices

(Marshall 1993). This study examined how the conversion of old-growth forests to second-growth forests affects the abundance and biodiversity of soil arthropods in the LFH layer and in litterbags containing needle litter or wood chips.

In: J.A. Trofymow and A. MacKinnon, editors. Proceedings of a workshop on Structure, Process, and Diversity in Successional Forests of Coastal British Columbia, February 17-19, 1998, Victoria, British Columbia. Northwest Science, Vol. 72 Pages 96-97 (special issue No. 2).

J.A. Addison, Valin G. Marshall, Applied Research Division, Royal Roads University, 2005 Sooke Rd., Victoria, British Columbia, Canada, V9B 5Y2
and **J.A. Trofymow**, Pacific Forestry Centre, Canadian Forest Service, Natural Resources Canada, 506 Burnside Road West, Victoria, British Columbia, Canada, V8Z 1M5
<http://warehouse.pfc.forestry.ca/pfc/5100.pdf> (2005 11 29)

Stabilité des écosystèmes

L'intersuffisance des écosystèmes épigé et hypogé

« Positive feedback is being increasingly recognized as an important component of ecosystem dynamics (**De Angelis et al. [1986]**, **Gutierrez & Fey [1980]**, **Pastor & Post [1988]**). Within the constraints of resource supply mental factors, the biological system characterized by strong positive feedback among its components is in many respects selfgenerating its productivity and stability determined largely through its internal inter-actions. "The idea of a system.... generating [itself] in a self consistent loop of explanation is reminiscent of the story of the boy who fell into a bog and hauled himself out by pulling on his own bootstraps, so... such modes of explanation [are called] "bootstrapping" (**Davies [1983]**).

- On reconnaît de plus en plus qu'une rétroaction positive est un élément important de la dynamique des écosystèmes (**De Angelis et al. [1986]**, **Gutierrez & Fey [1980]**, **Pastor & Post [1988]**). A l'intérieur des contraintes inhérentes aux ressources ainsi qu'aux facteurs environnementaux, le système biologique, reconnu par la forte rétroaction positive de ses composantes, peut bien souvent se régénérer lui-même; sa productivité et sa stabilité sont fortement favorisés par les interactions internes du système. L'idée d'un système se régénérant lui-même en bouclant la boucle, présente une analogie avec l'homme qui tombe dans un marais et s'en sort en tirant sur les lacets de ses godasses. Cette façon d'expliquer s'appelle "bootstrapping" (**Davis [1983]**) que l'on peut également qualifier d'autosuffisance.

- Dans l'optique du développement des connaissances autour de la question de l'influence des BRF sur la pédogénèse, la notion de rétroaction positive nous semble riche de perspectives. A bien y penser, c'est l'une des propriétés fondamentales de la vie où, par une série d'échanges et d'équilibres, nous arrivons à des édifices biologiques complexes et d'une grande stabilité. Ne serait-ce pas une autre définition de l'entropie en parallèle avec notre interprétation des lois de la thermodynamique? Le terme de "bootstrapping" ne peut avoir la même connotation qu'en anglais

où il désigne surtout la débrouillardise. Le titre que nous avons choisi ici est en relation avec les mécanismes de base en cause.

In : Lemieux, Gilles *L'INTERSUFFISANCE DES ÉCOSYSTEMES ÉPIGÉ ET HYPOGÉ.*

Publication n° 16, 1990, 2ième édition octobre 1996 édité par le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

Traduction française et commentaires à partir de : D.A. Perry, M.P. Amaranthus, J.G. Borchers, S.L. Borchers et R.E. Brainerd *Bootstrapping in Ecosystems*. Department of Forest Science, Oregon State University, Corvallis 97331 USA *BioScience* **39** (4): 230-237 (1989)

Les polyphénols : Nature, origine et rôle

On découvre un peu plus chaque jour la complexité de la composition chimique et du rôle biologique de la lignine. Le texte suivant en propose une synthèse (les graphiques ont été supprimés) :

Lignin Formation in Plants. The Dilemma of Linkage Specificity

Ronald Hatfield* and Wilfred Vermerris

United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service, United States Dairy Forage Research Center, 1925 Linden Drive West, Madison, Wisconsin 53706-1108 (R.H.); and Botany and Plant Pathology Department, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47907 (W.V.)

INTRODUCTION

Lignification is the process of forming the collective of phenylpropanoid macromolecules termed lignin. There are two ways to define lignin: 1) from a chemical point of view (i.e. its chemical composition and structure), and 2) from a functional view that stresses what lignin does within the plant. It has been recognized for 50 years now that lignin is a polymeric material composed of phenylpropanoid units derived from three cinnamyl alcohols (monolignols): *p*-coumaryl, coniferyl, and sinapyl alcohols (Fig. 1). It was suspected that this view might be too simplistic (Sarkanen and Ludwig, 1971), and there are now many examples showing that other phenolics can be incorporated into lignins (for review, see Sederoff et al., 1999). From a functional point of view, lignins impart strength to cell walls, facilitate water transport, and impede the degradation of wall polysaccharides, thus acting as a major line of defense against pathogens, insects, and other herbivores. The lignification process encompasses the biosynthesis of monolignols, their transport to the cell wall, and polymerization into the final molecule.

This discussion will focus on the final phase the formation of the lignin macromolecule. Bond formation is thought to result from oxidative (radical-mediated) coupling between a monolignol and the growing oligomer/polymer. The oxidative coupling between monolignols can result in the formation of several different interunit linkages (Fig. 2). In native lignins, 8-*O*-4-linkages are the most abundant, whereas for lignins formed in vitro by mixing coniferyl alcohol, hydrogen peroxide, and peroxidase, higher percentages of 8-8- and 8-5-linkages are found (Nimz and

Ludemann, 1976; Terashima et al., 1996; Chen, 1998). How is this apparent specificity in chemical bonds between lignin subunits controlled? Currently, there are two models for coupling radicals to produce a functional lignin molecule. One, the random coupling model, which emerged during early studies on the structure of lignin, centers on the hypothesis that lignin formation proceeds through coupling of individual monolignols to the growing lignin polymer in a near-random fashion (Harkin, 1967; Freudenberg and Neish, 1968; Adler, 1977). In this view, the amount and type of individual phenolics available at the lignification site and normal chemical coupling properties (Syrjanen and Brunow, 1998) regulate lignin formation.

Figure 2. These molecules represent the potential dimers that would have to be produced by dirigent proteins in order to account for bonds typically found in different types of lignin. Monolignol carbon numbers are shown for the first dimer, 5-5, to illustrate the appropriate numbering scheme. For all the other models, only the carbons involved in the interunit bond are numbered and the bond is highlighted for easy reference. The models are based solely on coniferyl alcohol, a situation found only in gymnosperm lignins. Angiosperm lignin will contain both coniferyl and sinapyl alcohols. Both gymnosperm and angiosperm lignins will contain small amounts of *p*-coumaryl alcohol. Therefore, dirigent proteins must not only accommodate these additional monolignols, but there must also be proteins that can form specific cross products between sinapyl and coniferyl alcohols. More significantly, these dimers do not fully represent lignins, which are formed from monolignols coupling with the growing lignin oligomer/polymer. The second model, the dirigent protein model, is more recent and suggests that lignification must be under strict regulation of specialized proteins that control the formation of individual bonds (Lewis and Davin, 1998; Davin and Lewis, 2000). This new model for lignin formation stems from the definition of dirigent proteins (Davin et al., 1997). Dirigent proteins direct the coupling of two monolignol radicals, producing a dimer with a single regio- and stereoconfiguration. These dimers are known as lignans and are commonly found in many plants. The rationale for this new model is the belief that nature would not leave the formation of such an important molecule as lignin "to chance" (Davin and Lewis, 2000). It is argued that the only way to explain the high proportion of 8-*O*-4 linkages in lignin would be through regulation by specific dirigent proteins (Davin and Lewis, 2000).

We will evaluate both models to determine how well each fits with the current state of knowledge based on experimental evidence.

In: Plant Physiol, August 2001, Vol. 126, pp. 1351-1357

UPDATE ON LIGNIFICATION

Source : <http://www.plantphysiol.org/cgi/content/full/126/4/1351> (extrait le 2005 12 03)

Biodiversity in Litter Decomposition in terrestrial Ecosystems

Stephan Hättenschwiler,¹ Alexei V. Tiunov,² and Stefan Scheu³

¹Center of Functional Ecology and Evolution, CEFE-CNRS, 34293 Montpellier, France; email: stephan.hattenschwiler@cefe.cnrs.fr

²Institute of Ecology and Evolution, Laboratory of Soil Zoology, 119071 Moscow, Russia; email: a_tiunov@mail.ru

³Institute of Zoology, University of Technology Darmstadt, 64287 Darmstadt, Germany; email: scheu@bio.tu-darmstadt.de

Abstract :

We explore empirical and theoretical evidence for the functional significance of plant-litter diversity and the extraordinary high diversity of decomposer organisms in the process of litter decomposition and the consequences for biogeochemical cycles. Potential mechanisms for the frequently observed litter-diversity effects on mass loss and nitrogen dynamics include fungi-driven nutrient transfer among litter species, inhibition or stimulation of microorganisms by specific litter compounds, and positive feedback of soil fauna due to greater habitat and food diversity. Theory predicts positive effects of microbial diversity that result from functional niche complementarity, but the few existing experiments provide conflicting results. Microbial succession with shifting enzymatic capabilities enhances decomposition, whereas antagonistic interactions among fungi that compete for similar resources slow litter decay. Soil-fauna diversity manipulations indicate that the number of trophic levels, species identity, and the presence of keystone species have a strong impact on decomposition, whereas the importance of diversity within functional groups is not clear at present. In conclusion, litter species and decomposer diversity can significantly influence carbon and nutrient turnover rates; however, no general or predictable pattern has emerged. Proposed mechanisms for diversity effects need confirmation and a link to functional traits for a comprehensive understanding of how biodiversity interacts with decomposition processes and the consequences of ongoing biodiversity loss for ecosystem functioning.

In: Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics

Vol. 36: 191-218 (Volume publication date December 2005). First published online as a Review in Advance on August 12, 2005

The Role of Polyphenols in Terrestrial Ecosystem Nutrient Cycling

« Interspecific variation in polyphenols production by plants has been interpreted in terms of defense against herbivores. Several recent lines of evidence suggest that polyphenols also influence the pools and fluxes of inorganic and organic soil nutrients. Such effects could have far-ranging consequences for nutrient competition among and between plants and microbes, and for ecosystem nutrient cycling and retention. The significance of polyphenols for nutrient cycling and plant productivity is still uncertain, but it could provide an alternative or complementary explanation for the variability in polyphenols **production by plants.** »

Polyphenols are the most widely distributed class of plant secondary metabolites and several thousand different compounds have been identified. Polyphenols play many different roles in plant biology and human life, including UV protective agents, defensive compounds against herbivores and pathogens, contributors to plant colors, contributors to the taste of food and drink, and pharmaceuticals^{1,2}.

Several papers published in the 1960s showed that polyphenols could inhibit the activity of digestive enzymes and/or precipitate nutritional proteins². Since then, much ecological research has referred to polyphenols as antiherbivore compounds, often neglecting other ecological functions. Polyphenols have also been recognized as regulators of soil processes, where it has been sug-

gested that they inhibit nitrification³⁴, as well as decomposition and nutrient recycling^{5,6}, as a by-product of their antiherbivore activity⁷. Alternatively, it has been proposed that plant-produced polyphenols could control the pool and the form of nutrients available for plants and/or microbes⁸⁻¹⁰; this is a suggestion that might require an addition in the functional, and perhaps evolutionary, interpretation of polyphenols. Here, we focus on current experimental and theoretical evidence for interactions between polyphenols and ecosystem nutrient cycling, and suggest possible future research directions.

Chemistry and occurrence of polyphenols

Phenolic compounds are defined chemically by the presence of at least one aromatic ring bearing one (phenols) or more (polyphenols) hydroxyl substituents, including their functional derivatives (e.g. esters and glycosides). (Poly)phenols can be roughly divided into two groups: (1) low molecular weight compounds; and (2) oligomers and polymers of relatively high molecular weight (Box 1). Lignins, although phenolic compounds, are not considered in this review because of their low solubility and distinct functional properties.

Low molecular weight phenolics (LMP) occur universally in higher plants, some of them are common in a variety of plant species and others are species specific. Higher molecular weight proanthocyanidins (PA; also called condensed tannins) are the most abundant polyphenols in woody plants, but are usually absent in herbaceous plants^{11,12}. Hydrolyzable tannins have a more restricted occurrence than PA, being found in only 15 of the 40 orders of dicotyledons^{11,12}.

Because of the large variety of analytical methods and problems with choosing the appropriate standards^{2,13}, polyphenol concentrations reported in the literature vary immensely and might not be comparable with each other. Nevertheless, the two most frequently used polyphenol measurements (i.e. 'total phenolics' and PA) are accepted reasonably well, and they commonly yield results in the range of about 1% to 25% of total green leaf dry mass. Poly-phenol concentrations are determined less frequently in plant parts other than leaves; limited evidence suggests that the concentration of PA can be considerably higher (up to fourfold) in fine roots, although phenolic acid concentrations appear to be lower in fine roots than in leaves of the same plant species¹⁴.

Stephan Hattenschwiler and Peter Vitousek, the Dept of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA

In:

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=10802549&dopt=Abstract

Origine des plantes : paléobotanique

Mycorrhizae [my co rye' zay, endomycorrhizae]

Dealing with sterile soil:

As plants began to explore habitats well above the water table, or flood levels, they were ultimately forced to make a transition from environments in which dissolved nutrients were reasonably available (bodies of water) to one in which nutrients were relatively unavailable (essentially sterile mineral soil).

In fact, it is entirely plausible that this dilemma was first faced by lichens which even to this day dominate the growth-on-sterile-minerals niche.

The algae (or cyanobacteria) associated with lichen solve the problem of lack of nutrient availability by partitioning nutrient and energy gathering between the fungi and the symbiotic algae, respectively.

Fungi as roots:

Early plants solved this problem similarly, though unlike in lichens in this case it was the energy transducer (the plants) which were the conspicuous organism.

Particularly, fungi are found living in conjunction with plant roots, either external to these roots (*mycorrhizae*) and/or within the root cells themselves (*endomycorrhizae*).

The majority of the plants today (80%) as well as numerous fossil plants display *mycorrhizae*

In: <http://www.mansfield.ohio-state.edu/~sabedon/biol3060.htm> Extrait le 2005 12 01

Complexité : Définition usuelle

Ce n'est pas tant la multiplicité des composants, ni même la diversité de leurs interrelations, qui caractérisent la complexité d'un système : tant qu'ils sont pratiquement et exhaustivement dénombrables on sera en présence d'un système compliqué (ou hypercompliqué), dont un dénombrement combinatoire pourrait permettre de décrire tous les comportements possibles (et par-là de prédire son comportement effectif à chaque instant dès que la règle ou le programme qui les régit est connue) : en termes mathématico-informatiques on dit alors qu'on est en présence d'un "problème polynomial" ("P. Problem"). C'est l'imprévisibilité potentielle (non calculable a priori) des comportements de ce système, liée en particulier à la récursivité qui affecte le fonctionnement de ses composants ("en fonctionnant ils se transforment"), suscitant des phénomènes d'émergence certes intelligibles, mais non toujours prévisibles. Les comportements observés des systèmes vivants et des systèmes sociaux fournissent d'innombrables exemples de cette complexité. Pendant deux siècles, la science positive a semblé "baisser les bras" devant ces phénomènes, préférant ne vouloir connaître que le "scientifiquement prévisible" ou calculable, avant que G. Bachelard ne lui rappelle "son idéal de complexité" qui est de rendre le merveilleux intelligible sans le détruire. En introduisant le concept de "complexité organisée" en 1948, W. Weaver allait réouvrir de nouvelles voies à "l'intelligence de la complexité" que P. Valéry avait déjà définie comme "une intelligible imprévisibilité essentielle". Edgar Morin, à partir de 1977 ("La Méthode", T. I) établira le "Paradigme de la complexité" qui assure désormais le cadre conceptuel dans lequel peuvent se développer nos exercices de modélisation des phénomènes que

nous percevons complexes ("point de vue") : une complexité à la fois organisée et, récursivement, organisant.

In : *Le petit lexique des termes de la complexité*

(<http://www.mcxapc.org/static.php?file=lexique.htm&menuID=lexique> extrait le 2005-II-04

La sélection des idées

.....Or, les sociétés modernes sont exposées à des menaces autrement pressantes et graves. Je ne parle pas ici de l'explosion démographique, de la destruction de la nature, ni même des mégatonnes ; mais d'un mal bien plus profond et plus grave, un mal de l'âme. Celui-là c'est le plus grand tournant de révolution idéale qui l'a créé et sans cesse l'aggrave. Le prodigieux développement de la connaissance depuis trois siècles contraint aujourd'hui l'homme à une révision déchirante de la conception, enracinée depuis des dizaines de milliers d'années, qu'il se faisait de lui-même et de sa relation avec l'univers.

Tout cela cependant, le mal de l'âme comme la puissance des mégatonnes, nous vient d'une simple idée : la nature est objective, la vérité de la connaissance ne peut avoir d'autre source que la confrontation systématique de la logique et de l'expérience. On a peine à comprendre comment il a pu se faire que, dans le royaume des idées celle-là, si simple et si claire, n'ait pu paraître en pleine lumière que cent mille ans après l'émergence de *Homo sapiens* ; comment il se fait que des civilisations des plus hautes, telle la chinoise, l'aient ignorée, pour ne l'apprendre que de l'Occident ; ni pourquoi, en Occident même, il fallut près de 2 500 ans, de Thalès et Pythagore à Galilée, Descartes, Bacon, pour qu'enfin elle se dégage de la gangue qui l'enfermait dans la pure pratique des arts mécaniques.

Il est tentant, pour un biologiste, de comparer révolution des idées à celle de la biosphère. Car si le Royaume abstrait transcende la biosphère plus encore que celle-ci l'univers non vivant, les idées ont conservé certaines des propriétés des organismes. Comme eux elles tendent à perpétuer leur structure et à la multiplier, comme eux elles peuvent fusionner, recombinaison, ségréguer leur contenu, comme eux enfin elles évoluent et dans cette évolution la sélection, sans aucun doute, joue un grand rôle. Je ne me hasarderai pas à proposer une théorie de la sélection des idées. Mais on peut au moins tenter de définir certains des principaux facteurs qui y jouent un rôle. Cette sélection doit nécessairement opérer à deux niveaux : celui de l'esprit lui-même et celui de la performance.

La valeur de performance d'une idée tient à la modification de comportement qu'elle apporte à l'individu ou au groupe qui l'adopte. Celle qui confère au groupe humain qui la fait sienne plus de cohésion, d'ambition, de confiance en soi, lui donnera de ce fait un surcroît de puissance d'expansion qui assurera la promotion de l'idée elle-même. Cette valeur de promotion est sans rapport nécessaire avec la part de vérité objective que l'idée peut comporter. La puissante armature que constitue pour une société une idéologie religieuse ne doit rien à sa structure en

elle-même, mais au fait que cette structure est acceptée, qu'elle s'impose. Aussi ne peut-on que difficilement séparer le pouvoir d'invasion d'une telle idée et son pouvoir de performance.

Le pouvoir d'invasion, en soi, est bien plus difficile à analyser. Disons qu'il dépend des structures préexistantes de l'esprit, parmi lesquelles les idées déjà véhiculées par la culture mais aussi, sans aucun doute, certaines structures innées qu'il nous est bien difficile d'ailleurs d'identifier. Mais on voit bien que les idées douées du plus haut pouvoir d'invasion sont celles qui *expliquent* l'homme en lui assignant sa place dans une destinée immanente, au sein de laquelle se dissout son angoisse.

In : Monod, Jacques, **Le hasard et la nécessité** (essai sur la philosophie de la biologie moderne), 1970 Éditions du Seuil, Paris p.180-182

BIBLIOGRAPHIE

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux Université Laval Québec

- 1 Guay, E, Lachance, L, & Lapointe, R.A, (1982) «Emploi des bois raméaux fragmentés et des lisiers en agriculture» Québec, 76 pages
 - 2 Lemieux, G. (1984) «Les affres de l'abondance» Commission d'enquête sur la forêt privée 15 pages, Université Laval.
 - 3 Lemieux, G. (1985) «Essais d'induction de la végétation forestière vasculaire par le bois raméal fragmenté». Département des Sciences Forestières, Université Laval Québec, 109 pages. © ISBN 2-550-21340-8.
 - 4 Lemieux, G. (1986) «Compte rendu du colloque d'évaluation sur les bois raméaux» Premier colloque. Université Laval, Québec, 59 pages.
 - 5 Lemieux, G. (1986) «La cellule familiale et la propriété forestière: le patrimoine du présent et de l'avenir». Univ. de Dijon, France, 14 pages.
 - 6 Lemieux, G. (1986) «Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol». Québec, 17 pages. ©ISBN 2-550-21338-1.
 - 7 Lemieux, G. (1987) «Dix ans de travaux sur le cyclage biologique du bois raméal». Université Laval, Québec, 7 pages.
 - 8 Lemieux, G. (1987) «Analyse critique des premières expériences de paillage de plantations à l'aide de copeaux de résidus de coupe». Université Laval, Québec, 12 pages.
 - 9 Lemieux, G. (1987) «La responsabilisation du producteur forestier par le droit de propriété: une analyse du discours de Léonard Otis». Université Laval, Québec 22 pages.
 - 10 Lemieux, G., Stevanovic Janezic & Lachance, L. (1999) "La structure des sols et le bilan du carbone: une analyse sommaire en fonction de l'effet de serre" Université Laval, publication 10, 7 pages
 - 11 Lemieux, G. (1988) «L'importance du bois raméal dans la "synthèse" de l'humus» Département des Sciences Forestières, Université Laval Québec, 29 pages. ©ISBN 2-550-21341-6.
 - 12 Lemieux, G. (1988) «La paysannerie et la biologie du sol: une équation environnementale» Univ. Laval, Qc, 33 pages. ISBN 2-550-21343-2
 - 13 Lemieux, G. (1989) «La régénération forestière et les bois raméaux fragmentés: observations et hypothèses». Université Laval, Québec, 223 pages. ©ISBN 2-550-21342-4.
 - 14 Lemieux, G. (1990) «La société québécoise et le capital forestier». Université Laval, Québec, 16 pages.
 - 15 Lemieux, G. (1990) «Le bois raméal et la pédogénèse: une influence agricole et forestière directe». Université Laval, Québec, 35 pages. ©ISBN 2-550-21267-3.
 - 16 Lemieux, G., Lachance, L. & Lapointe, R.A. (1990) «L'intersuffisance des systèmes épigé et hypogé», (*Bootstrapping in ecosystems*). Université Laval, Québec 35 pages. ©ISBN 2-550-21445-5
 - 17 Lemieux, G. (1991) «L'entrée de la forêt dans le monde de l'écoviabilité rurale: mémoire présenté aux États généraux du monde rural». Québec 31 pages. ©ISBN 2-550-22796-4
 - 18 Lemieux, G. (1991) «Mémoire portant sur la problématique des bois raméaux dans les contextes agricoles, forestiers et environnementaux». Québec. 10 pages. ©ISBN 2-550-21827-2
 - 19 Lemieux, G. (1991) «La perte de nutriments par la récolte des grumes: une absurdité» (*traduction et commentaire sur B. Freedman :Nutrient Removals during Forest Harvesting: Implications for Site Fertility*). Univ. Laval, Québec, 14 pages. ©ISBN 2-550-22280-6
 - 20 Lemieux, G. (1991) «Le rôle des bois raméaux dans la pédogénèse des sols forestiers». Université Laval Département des Sciences Forestières, Québec, 46 pages, ©ISBN: 2-550-22693-3
 - 21 Lemieux, G. (1992) «Les actes du troisième colloque sur les bois raméaux fragmentés». Univ. Laval, Qc, 57 pages, ©ISBN 2-550-22796-4
 - 21b Lemieux, G. (1991) «Ensemble des données sur le dispositif "MOULIN" de 1984 à 1991» Troisième colloque sur les bois raméaux fragmentés. Québec 1-3 octobre 1991 214 pages. Université Laval, Québec
 - 22 Lemieux, G. (1992) «L'introduction des bois raméaux fragmentés dans le plan de relance de la vallée de la Matapédia». Québec, 24, pages © ISBN: 2-550-22851-0
 - 23 Lemieux, G. et Toutain, F. (1992) «Quelques observations et hypothèses sur la diversification: l'aggradation des sols par l'apport de bois raméal fragmenté». Québec, 13 pages. ISBN 2-550-26541-6
 - 24 Lemieux, G. & Goulet, M. (1992) «Sylvagraire" und "Sylvasol", neue Wege zum Aufgradieren von Acker -und Waldböden». Université Laval, Düsseldorf, Allemagne, 4 pages © ISBN 2-550-26540-8.
- Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux
Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Université Laval, Québec, Canada G1K 7P4

- 25 Lemieux, G. (1992) «L'aggradation des sols par le patrimoine microbiologique d'origine forestière». Université Laval, Coimbra, Portugal. 10 pages. ISBN 2-550-26521-1.
- 26 Smeesters, E. (1992) «Un paillis et un amendement à la portée de chacun: LE BOIS RAMÉAL FRAGMENTÉ». Univ. Laval, Qc, 8 pages.
- 27 Lemieux, G. (1992) «Rapport de mission en Europe du 6 mai au 16 juin 1992: Portugal, Belgique et France» Univ. Laval, Québec, 13 pages.
- 27b Lemieux, G. (1992) «Rapport de la deuxième mission en Europe du 1^{er} au 18 octobre 1992 Belgique et Allemagne» Univ. Laval, 127 pages.
- 28 Guay, E. (1993) «L'usage du bois raméal et ses implications socio-économiques». Université Laval, Québec 8 pages ©ISBN 2-550-27119-X
- 29 Lemieux, G. & Tétreault, J-P. (1993) «L'origine forestière des sols agricoles: la diversification microbiologique par aggradation sous l'effet des bois raméaux fragmentés». Université Laval, Bruxelles, 33 pages. ISBN 2-550-27481-4.
- 30 Lemieux, G. (1993) «Les actes du 2^{ième} colloque régional sur les bois raméaux fragmentés, Amqui, Vallée de la Matapédia». Université Laval. Québec, 39 pages, ISBN: 2-550-27536-5
- 31 Lemieux, G. (1993) «La forêt québécoise n'est plus et ne sera plus ce qu'elle fut». Université Laval, Québec, 20 pages.
- 32 Lemieux, G. (1993) «Esquisse factuelle de la forêt québécoise pour en évaluer l'impact social, économique et environnemental» Université Laval Québec, 24 pages.
- 33 Smeesters, E. (1993) «Une mine d'or: le bois raméal fragmenté». Université Laval Saint-Bruno, 6 pages.
- 34a Lemieux, G. (1993) «L'aggradation pédogénétique, un processus universel sous l'influence des BRF: les effets sur la biodiversité et la productivité». Université Laval, Rome, 6 pages. ISBN2-921728-04-4, 1995.
- 34b Lemieux, G. (1993) «A universal pedogenesis upgrading processus: RCWs to enhance biodiversity and productivity» Université Laval, Rome, 6 pages. (version anglaise) ISBN 2-921728-05-2
- 35 Lemieux, G. (1993) «Rapport de mission au siège international de la FAO à Rome du 1^{er} au 4 décembre 1993». Univ. Laval, Qc, 11 pages.
- 36 Anonyme (1993) «Eukalypse Now». Université Laval, Hambourg, 8 pages, (traduit de l'allemand par le D^r Marcel Goulet).
- 37 Lemieux, G. (1993) «Harvesting a new crop from forest: ramial wood for forest and agricultural soils». (FAO) Université Laval, Rome, 1 page.
- 38 Lemieux, G. (1993) «A new wealth for soil : ramial wood». (FAO) Université Laval, Rome, 1 page.
- 39 Lemieux, G. & Larochelle, L. (1993) «Rapport de mission au Sénégal du 5 au 15 décembre 1992». Université Laval, Québec, 25 pages.
- 40 Lemieux, G. (1993) «Rapport de la 2^{ième} mission européenne, Belgique et Allemagne, du 2 au 19 octobre 1992». Université Laval, 15 pages.
- 41 Guay, E. (1993) «Rapport de mission au Portugal du 10 au 30 avril 1993». Université Laval, Québec, 3 pages.
- 42 Lemieux, G. (1994) «Mémoire portant sur un projet de recherche sur les BRF en République Dominicaine en 1994». Univ. Laval, Qc, 4 pages.
- 43 Lemieux, G. & Tétreault, J-P. (1994) «Les actes du quatrième colloque international sur les bois raméaux fragmentés»:

Claude Camiré: *Les hypothèses d'un programme intégré de recherche sur les bois raméaux (BRF) en milieu forestier.*

Mamadou, Amadou Seck: *Essais de fertilisation organique avec les bois raméaux fragmentés de filao (Casuarina equisetifolia) dans les cuvettes maraîchères des Niayes (Sénégal).*

Chantal Beauchamp: *La caractérisation et la valorisation agricole des BRF et leurs impacts sur le sol et les cultures.*

Marcel Michaud: *Les bois raméaux fragmentés: un amendement organique pour les sols en production horticole.*

Jean Cornelis: *L'évolution du recyclage des déchets verts en Belgique.*

Fernand Pagé: *L'apport des bois raméaux fragmentés en sols cultivés: le rôle de la pédofaune sur la transformation de la matière ligneuse.*

Louis Larochelle: *L'influence de la qualité des bois raméaux fragmentés (BRF) appliqués au sol: effets sur la dynamique de leur transformation.*

Rémi Gauthier : *Équilibre minéral et santé.*

François Toutain: *Biodégradation et humification des résidus végétaux dans le sol: évolution des bois raméaux fragmentés (étude préliminaire).*

Damien Saint-Amand: *Essais et expérimentation de la fragmentation des biosurplus forestiers.*

Andrée Deschênes: *L'utilisation des BRF sur les sols agricoles: antécédents et perspectives.*

Gilles Lemieux: *Le bois raméal fragmenté et la méthode expérimentale: une voie vers un institut international de pédogénèse.*

Amqui et Québec, 195 pages. ISBN 2-550-28792-4 1994

- 44 Lemieux, G. (1994)** «Seule la vie du sol est le siège de la fertilité de la forêt et des champs: le bois raméal en est la clef». Département de Foresterie, Université Laval, et Université de Moncton, Nouveau-Brunswick, 37 pages. ISBN 2-921728-00-1 1994
- 44b Lemieux, G. (1994)** «La crise forestière actuelle: innocence ou sénescence?», 4 pages, ISBN 2-921728 -03-6
- 45 Lemieux, G. & Lapointe, A. (1992)** «La structuration humique des sols». Ministère des Forêts, Québec. 14 pages © ISBN 2-550-22289 -X
- 46 Lemieux, G. (1995)** «La lignine des Dicotylédones ligneuses: son influence universelle sur le système humique», 56 pages. Université Pedro Henriquez Ureña. Santo-Domingo, République Dominicaine, ISBN 2-921728-11-7, 1995.
- 47 Lemieux, G. (1994)** «Rapport de mission en République Dominicaine du 26 avril au 8 mai 1994, *Informe sobre la mission realizada en la República Dominicana, del 24 abril al 8 mayo 1994*», 37 pages. ISBN 2-921728-06-0 1994
- 48 Lemieux, G. & Goulet, M. (1995)** «La protection de l'environnement par le système humique: un rôle que l'on découvre peu à peu», Université Laval, 14 pages.
- 49 Lemieux, G. (1995)** «Passer de l'enthalpie à l'entropie». Écodécision, Royal Society of Canada, hiver 1995, pp 72-73. ISSN 1183-2355 © 1991
- 50 Caron, C. (1995)** «Ramial Chipped Wood: a basic tool for regenerating soils». Lincoln University, IFOAM Meeting, Christchurch, New-Zealand. 8 pages. ISBN 2-921728-07-9.
- 51 Lemieux, G. (1995)** «Rapport de mission en Afrique (Sénégal)». ACIDI et Univ. Laval, décembre 1994. 48 pages, ISBN 2-921728-08-7 1995.
- 52 Lemieux, G. (1995)** «Rapport de mission en Europe (Belgique France)». Univ. Laval, décembre 1994. 34 pages ISBN 2-921728-09-5, 1995.
- 53 Lemieux, G. & Tétrault, J.P. (1995)** «Le bois raméal, le système humique et la sécurité alimentaire» FAO et Université Laval, 16 pages, ISBN 2-921728-10-9, 1995.
- 54 Lemieux, G. (1995)** «La dynamique de l'humus et la méthode expérimentale: l'apport de la forêt à l'agriculture par le bois raméal fragmenté». 13 pages, Université de Dakar, Sénégal ISBN 2-921728-12-5 1995.
- 55 Lemieux, G. (1995)** «Les germes économiques et scientifiques de la révolution verte au Sahel» ACIDI et Université Laval, 23 pages, Pointe au Pic ISBN 2-021728-13-3.
- 56 Lemieux, G. (1995)** «The basics of the economical and scientific green revolution of Sahel» CIDA, & Laval University 26 pp ISBN 2-921728-13-3 (English translation).
- 57 Lemieux, G. (1995)** «Le bois raméal pour rebâtir les sols» *Agriculture* 53:1 pp 3-7. ISSN 0002-1687
- 58 Lemieux, G. & Lachance, L. (1995)** «Essais d'utilisation du Bois raméal fragmenté (BEF) pour la régénération des sols dans les cultures en couloir en milieu africain» Université Laval -CRDI, 16 pages ISBN 2-921728-14-1.
- 59 Lemieux, G. (1996)** «Cet univers caché qui nous nourrit: le sol vivant» Université Laval-CRDI (Centre de Recherche en Développement International), 51 pages ISBN 2-921728-15-X 1996.
- 59 Lemieux, G. (1996)** «The hidden world that feeds us: the living soil» 49 pages Laval University and IDRC (International Development Research Centre) ISBN: 2-921-728--17-6 (version en langue anglaise).
- 60 Tissaux, J.C. (1996)** «Une revue bibliographique des principaux mécanismes pédogénétiques pour caractériser le rôle du bois raméal fragmenté (BRF) dans le processus d'humification». 34 pages, Université Laval, ISBN 2-921728-18-4.
- 61 Anonyme (1996)** «New ideas on soil formation, soil fertility» *Agroforestry TODAY*. ICRAF Nairobi Kenya 8 (3) pp 23-24 ISSN 1013 3225.
- 62 Lemieux, G. (1996)** «Le capital forestier des québécois» 3^e édition Département des Sciences forestières, Université Laval, 24 pages 1990.

63

64

- 65 Lemieux, G. (1996)** «Discussions sur la proposition d'un projet utilisant les BRF pour l'Ukraine de la part du CRDI. Univ. Laval, 37 pages.
- 66 Guay, Edgar (1996)** «Un dicton africain: la fertilité dépend de l'arbre» Département des Sciences du Bois et de la Forêt, Université Laval 4 pages. ISBN 2-921728-20-6
- 67 Furlan, V. & Lemieux, G. (1996)** «Méthode d'application et d'évaluation pour l'utilisation des Bois Raméaux Fragmentés» Université Laval, Québec, Canada, 7 pages ISBN 2-921728-21-4
- 68 Lemieux, G. (1996)** «Rapport des missions internationales de 1996: Sénégal, Kenya, République Dominicaine, Ukraine, France, Belgique. Université Laval, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, 284 pages ISBN 2921728-22-2.
- 69 Seck, M.A. & Lemieux G. (1996)** «Fertilisation organique par l'utilisation des Bois Raméaux Fragmentés (BRF) de filaos (*Casuarina equisetifolia*) dans les cuvettes maraîchères des Niayes (Sénégal). conférence de l'IFOAM, Copenhague, Danemark août 1996 Université Cheikh Anta Diop Dakar, 19 pages.
- 70 Lemieux, G. (1997)** La régie des écosystèmes forestiers par le sol et les mécanismes qui y président» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 65 pages ISBN2-921728-23-0
- 71 Lemieux, G. (1997)** «Les fondements pédogénétiques des écosystèmes forestiers: une approche de la métastabilité par la biologie tellurienne». Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 73 pages ISBN 2-921728-25-7.
- 72 Lemieux, G. (1997)** «Fundamentals of Forest Ecosystem Pedogenetic: An Approach to Metastability Through Tellurian Biology» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux Université Laval, ISBN 2-921728-24-9 (anglais)
- 72b Édition en langue russe.**
- 73 Lemieux, G. & Lapointe, A. (1992)** «Les actes du troisième colloque sur les bois raméaux fragmentés, octobre 1991» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 57 pages, deuxième édition ISBN 2-550-22796-4.
- 74 Lemieux, G. (1990)** «Projet Séminaire: rapport d'étape» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, ISBN 2-550-21356-4, 10 pages
- 75 Lemieux, G. (1997)** «Esquisse conceptuelle...Concept Paper, CRDI, Ottawa
- 76 Noël, B. (1996)** «Étude comparative de l'apport au sol en conditions contrôlées de Bois Raméaux Fragmentés (BRF) et de Bois Raméaux compostés, appliqués en mulch». Université Catholique de Louvain, Belgique, 81 pages, ISBN 2-921728-26-5
- 77 Smeesters, É.(1997)** «Comment améliorer le sol avec le bois raméal fragmenté (BRF). Commission Canadienne du Compostage, 4 pages ISBN 2-921728-28-1.
- 78 Larochelle, L. (1997)** «L'impact du bois raméal fragmenté sur la dynamique de la mésofaune du sol» Mémoire de maîtrise, Université Laval, 56 pages ISBN 2-921728-27-3
- 79 Noël, B. (1997)** «Mémoire de l'usage du B.R.F.: Le comment et le pourquoi» Université Laval, 11 pages, ISBN 2-921728-29-X
- 80 Larochelle, L., Pagé, F. Beauchamp, G.J. & Lemieux, G (1993)** «Rôle de la mésofaune dans la dynamique de la transformation de la matière ligneuse appliqués au sol» réédition de AGROSOL ISSN-0840-9900 p 36-43.
- 81 Lemieux, G. (1996)** «El mundo oculto que nos alimenta: suelo viviente» Traduction en espagnol du Professeur José Marciano République Dominicaine, 49 pages, ISBN 2-921728-30-3
- 82 Smeesters, E., Larochelle, L. & Lemieux, G. (1998)** «Que faire avec les branches après le verglas: les BRF un cadeau du ciel?». Université Laval, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, 7 pages
- 83 Édition en langue russe de Caron, C., Lemieux, G. & Lachance L. (1998)** «Regenerating soils with Ramial Chipped Wood» Reprint from *THE MAINE ORGANIC FARMER & GARDNER, Augusta, Maine USA*, Groupe de Coordi. sur les Bois Raméaux, 10 pages
- 84 Lemieux, G, Lachance, L, & Genest, S. (1998)** «Projet d'implantation de la technologie des BRF en Afrique: développement et recherche en agroforesterie appliquée à l'agriculture et à la forêt», Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval , 15 pages, ISBN 2-921728-33-8.
- 85 Held, M, Kümerer, K, & Brandt, K. (1998)** «Preserving Soil For Life» TUTZING proposal "Convention on sustainable Use of Soils" to United Nations, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 22 pages.
- 86 Lemieux, G. (1998)** «La tempête de verglas de janvier 1998: que faire du bois raméal. Texte de l'entrevue du 19 mars à Radio-Canada Québec. Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, 5 pages

- 87 Lemieux, G. Lachance, L. & Genest S. (1998)** «Project to introduce RCW technology in Africa: Development and Research in Agroforestry applied to agriculture and Forestry (translation from french language) Laval Univ. ,17 pages, ISBN 2-921728-34-6 (version anglaise)
- 88 Godron, M. & Lemieux, G. (1998)** «Le bois des raméaux, un élément crucial de la biosphère» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 29 pages, ISBN 2-921728-35-4.
- 89 Lemieux, G. (1997)** «Fundamentos de Pedogenesis en el ecosistema forestal: Una aproximacion a la metastabilidad a traves de la biologica telurica» Traduction, Prof. José Marcano Santo-Domingo 44 pages ISBN 2-921728-36-2
- 90 Furlan, V. & Lemieux, G. (1997)** « Metodo de aplicacion y de evaluacion para et uso de la madera rmeal fragmentada» Traduction du Professeur José Marcano, Université Pedro Henriques Ureña, Santo-Doming, République Dominicaine
- 91 Larochelle, L., Pagé, F. G.J. Beauchamp G.J et Lemieux G. (1998)** «Papel de la mesofauna en la dinamica de la transformacion de la materia liñosa aplicada al suelo» Traduction du Professeur José Marcano, Université Pedro Henriques Ureña, Santo-Doming, République Dominicaine
- 92 Lemieux, G. (1998)** «Une ressource révélée par le verglas: Le «bois raméal» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval , 53 pages, publication n° 92 ISBN 2-21728-39-7.
- 93 Hamel, C. (1998)** «Les champignons mycorhizoteurs à vésicules et arbuscules en écosystèmes agricoles» Université McGill et Université Laval 18 pages ISBN 2-921728-39-7
- 94 Lemieux, G. (1998)** «La commission sur le verglas de 1998: question (et réponses aux commissaires. Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux. 6 pages
- 95 Lemieux, G. (1998)** « A new forested technology for agricultural purposes; the RCW technology» Agrarian University of Kiev. Ukraine & Université Laval, Québec, Canada, 8 pages, ISBN 2-921728-42-7.
- 96 Lemieux, G. (1998)** «Les biocides dans notre société industrielle: une approche positive plutôt que réglementaire» Ministère de l'Environnement, Université Laval, 3 pages ISBN 2-921728 -41-9
- 97 Lemieux, G. (1998)** «Une nouvelle technologie pour des fins agricoles: la pédogénèse par les BRF.» Université Agricole de Kiev, 9 pages ISBN 2-921728-43-5
- 98 Lemieux, G, Genest, S. & Hamel, C. (1998)** «Mission exploratoire au Sénégal et au Bénin sous la commandite du CRDI, réalisée entre le 27 juillet et le 7 août 1998 pour effectuer le transfert de la technologie des BRF» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval. 123 pages ISBN 2-921728-45-1
- 99 Lemieux, G., Lachance, L. Genest S. & Hamel, C. (1998)** «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» Université Laval; proposition au CRDI, 74 pages, ISBN 2-921728-46-X.
- 100 Caron, C., Lemieux, G. & Lachance L. (1998)** «Regenerating soils with Ramial Chipped Wood» Reprint from THE MAINE ORGANIC FARMER & GARDNER, Augusta, Maine USA, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, 10 pages
- 101 Lalande R., Furlan V., Angers D.A. & Lemieux G. (1998)** «Soil Improvement Following Addition of Chipped Wood from Twigs» Amer. Journ. Alt Agri. **13**: 3 pp 132-137
- 102 Lemieux, G. (1999)** «Une structuration de l'agriculture par rapport à de nouvelles connaissances» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 2 pages.
- 103 Lemieux, G. (1999)** «L'influence des mécanismes forestiers sur la biologie et la fertilité des sols agricoles» Conseil des Productions Végétales du Québec, Université Laval, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, 6 pages, ISBN 2-921728-47-8.
- 104 Lemieux, G, Lachance, L. & Stevanovic-Janezic, T. (1999)** «La structure des sols et le bilan du carbone: une analyse sommaire en fonction de l'effet de serre». Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 15 pages, ISBN 2-921728-48-6
- 105 Lemieux, G, (1997)** «Rapport de mission à l'ICRAF: l'approche des ONG "Une perspective sur le retablisement de la fertilité des sols en Afrique et au Moyen-Orient» Université Laval et CRDI, 28 pages.
- 106, Chervonyj, A. (1999)** «Research project on RCW technology on rye (*Secale cereale*)». Boyarska Forestry Research Station (Kiyv) Ukraine and Université Laval, Québec, Canada. 60 pages, ISBN 2-921728-49-4.
- 107, Chervonyj, A. (1999)** «Rapport d'étape sur la technologie des BRF, utilisant le seigle (*Secale cereale*) comme référence pour les années 1997-98. Université Agricole Nationale d'Ukraine, et la Station de Recherche Forestière Expérimentale de Boyarska. Université Laval, Québec Canada, 63 pages, ISBN 2-921728-50-8.

- 108 Lemieux, G. (1999)** «An overview of RCW technology on the process of humus formation based on lignin and polyphenols» 9 pages, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, Québec, Canada.
- 109 Sauer, L.J. (1999)** «Le sol ,un système vivant avant tout» Arnoldia, été 1999 pp.35-43 Traduction et commentaires du Professeur Gilles Lemieux, Groupe de Coordinaion sur les Bois Raméaux, Université Laval ,publication 109, 16 pages
- 110 Sauer, L.G. (1999)** «Soil as a living system», Arnoldia, Harvard University, Boston USA summer 1999 p 35-43. Comment by Professeur Gilles Lemieux, Laval University, Québec, Canada
- 111 Lemieux, G. (2000)** «Aggradation et restauration des sols» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, Québec, Canada ISBN 2-921728-51-6, 7 pages
- 112 Bourgeois, R. (2000)** «La fertilité des sols agricoles et forestiers» tiré-à-part de "LA TERRE DE CHEZ-NOUS" semaine du 17 au 23 février p.18 Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval ,Québec 2 pages.
- 113 Swift M.J. (1998)** «L'intégration de la société, des systèmes et des sols» Congrès Mondial de la Science du Sol, Montpellier, France, tiré-à-part, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval 22 pages.
- 114 Brabant, P., Cheverry, C., Lavelle, P., Morel, J-L. & Roose, É. (1997)** «La dégradation des sols ou les sols ne sont pas éternels» La Science et les Hommes, France Culture, Paris, tiré-à-part, Groupe de Coordi. sur les Bois Raméaux, Univ. Laval, mars 2000.
- 115 Lemieux, G., Lachance, L. Genest, S. et Hamel, C. (2000)** «Amélioration et maintien de la fertilité dans les sols en Afrique: le rôle de la technologie du Bois Raméal Fragmenté» Groupe de Coordination sur ls Bois Raméaux, Univ. Laval Québec , Canada ,42 pages.
- 116 Götsch, E (1994)** «La réhabilitation des sols dégradés par la succession naturelle des espèces» Traduction de l'anglais Groupe de Coordination sur les Bois raméaux, Université Laval, 20 pages
- 117 Swift, M. J. (1998)** «Integrating Soils, Systems and Society» Proceedings of te 1998 International Soil Sciences Society Meetihng Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux 18 pages
- 118 Neher, D. (1999)** «Soil Community composition and ecosuystem processes» Tiré-à-part de Agroforestry systems **45**: 159-185 Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux.
- 119 Anonyme (2000)** «Utilisation de la technologie des Bois Raméaux Fragmentés (BRF) en Estrie dans un concept de revalorisation des sols forestiers» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, 12 pages.
- 120 Lemieux, G. & Lachance, L. (2000)** «Une tentative d'évaluation de la technologie BRF pour des fins maraîchères» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université laval 34 pages ISBN 2-921728-52-4.
- 121 Dill, I, Kraepelin, U. Schultze, U. Reh, U. and Weissleder, I. (1987)** «The role of nitrogen in white- brown-rot decay: presentation of an ecological model» Les colloques de l'INRA, n° 40, Paris -Lignin enzymatic and microbial degradation. 4 pages
- 122 Anonyme (2000)** «D'autres signes inquiétants révélés par une étude globale: la dégradation des sols agricoles met en cause notre capacité de production agroalimentaire» IFPRI - «La démographie galopante nous dondamne à la soif sous tous ses aspects» WWI La Banque mondiale pour le développement
- 123 Anonymous (2000)** «Gloal Study Reveals New Warning Signals: Degraded Agricultural Lands Threaten World's Food Production Capacity» IFPRI - «Population growth sentencing millions to hydrological poverty» WWI -The World Bank.
- 124 Lemieux, G. (1998)** Compte rendu de la réunion du 16 avril ACDI Ottawa, 38 pages
- 125 Lemieux G. (2000)** «Compte-rendu de la réunion du 25 juillet 2000, ACDI, Hull, Québec, Université Laval, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, 19 pages.
- 126 Lemieux, G. (2000)** «Le paradigme forestier québécois» Université Laval, Québec Canada, 5 pages.
- 127 La Banque Mondiale (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.
- 128 Lemieux, G, & Germain, D, (2000)** Ramial Chipped Wood: the Clue to a Sustainable Fertile Soil» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 17 pages.
- 129 Lemieux, G. & Germain, D. (2001)** «Le Bois Raméal Fragmenté: la clé de la fertilité durable du sol» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, 23 pages
- 130 Lemieux, G. (2001)** «Définition du consortium LAVAL-McGILL. Compte rendu de la réunion 22 janier 2001» Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval ISBN 2-911728-54-0 18 pages.

- 131 Anonyme (2001)** «Amélioration et maintien de la fertilité des sols en Afrique: le rôle de la technologie du Bois Raméal Fragmenté» ACDI-CRDI (Document d'approbation de projet) édité par le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, ISBN 20911728-55-9, 21 pages.
- 132 Belnap² J Williams J. & Kaltenecker J. (1999)** «STRUCTURE ET FONCTION DES CROÛTES BIOÉDAPHIQUES DES SOLS DÉSERTIQUES» Proceedings: Pacific Northwest Forest and Rangeland Soil Organism Symposium USDA Forest Service , Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNW-GTR-461 Texte original et traduction française Groupe de coordination sur les bois raméaux , Université Laval
- 133 Lemieux, G, (2001)** «Première réunion de concertation dans le cadre de l'ASFI pour l'instauration du projet BRP-Sénégal» Université Laval Groupe de coordination sur les bois raméaux, 49 pages
- 134 Huat , J et David-Benz J. (2001)** «LA TOMATE D'INDUSTRIE AU SÉNÉGAL: PERFORMANCE DE LA PRODUCTION ET ENJEUX POUR LA FILIÈRE» CIRAD Sénégal (tiré-à-part)
- 135 Lemieux G. (2001)** «LA TECHNOLOGIE DES BRP ET LA PÉDOGÉNÈSE:UNE VISION GLOBALE DANS LE CONTEXTE AFRICAIN» CRDI-ACDI-Banque Mondiale Université Laval, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux ISBN: 2-921728-56-7. publication n° 135, 28 pages.
- 136 Touré, M. (2001)** «Afrique: l'aménagement des terres, du sol et de l'eau.» Banque Mondial pour le Développement Groupe de Coordination sur le Bois Raméal Université Laval Québec, Canada, 7 pages
- 137 Oldfield, B. (2001)** "The Resurrection of the Land" The Men of the Trees Western Australia et Université Laval 8 pages (tité-à-part)
- 139 Godron, M & Lemieux, G. (2001)** "Sur les cycles de la matière organique forestière" Université Laval, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux , 14 pages, ISBN: 2-921728-57-5
- 140 Lemieux, G. (2001)** "RCW TECHNOLOGY AND SOIL FORMATION : A COMPREHENSIVE VISION IN THE AFRICAN CONTEXT: CIDA-IDRC-The World Bank Université Laval, Québec Canada 27 pages ISBN: 2-921728-57-5
- 141 Smuts, J.C., Burgers, H.T. & St-Barbe-Baker, R, 1934 (2001)** "The African Observer" Université Laval, (Tiré-à-part)
- 144 Cornelis, J. (2001)** "Un autre regard sur la fertilité du sol" Belgian Urban Forestry, Practice and Research Association et Université Laval 11 pages ISBN : 2-921728-62-1
- 145 Niang, A, (1992)** "Les blocages de l'agroforesterie au Sénégal" tiré-à-part Université Laval. 15 pages
- 150 Lemieux, G. (2002)** "Conférence de formation du consortium de Développement-Recherche avec l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole et de l'Université Sheikh Anta Diop" Banque Mondial pour le Développement et Université Laval, 21pages.
- 152 Lemieux, G. Lachance, L, & Lapointe, R.A. (1987)** "Les actes du colloque restreint sur les Bois Raméaux Fragmentés" Université Laval, publication 152, ISBN 2-921728-67-2, 55pages
- 153 Lapointe, R.A. & Lemieux, G. (1987)** "Le bois raméal fragmenté: rapport d'étape 1983-86" Université Laval. publication 153 . ISBN 2-921728-68-0, 34 pages
- 164 Stevanovic-Janezic, T. (2002)** "Small Diameter Forest Resodues for Soil Rehabilitation" in Recovering Energy from Waste, Hogland, W édité, Université de Kalmar, suède - tiré-à-part Université Laval. publication 164, ISBN 2-921728-97-4, 27 pages
- 165 Marcano, J. (1998)** " GUIA METODOLOGICA PAR EL ESTABLICIMIENTO DE PRUEBAS CON MRF" Universidad Pedro Henríques Ureña, República Dominicana. Université Laval, publication 165 34 pages
- 167 Leach, M. & Fairhead, J. (2003)** " Anthropology, Culture and Environment" in Anthpology on the Frontline Chicago USA Université Laval. publication 167, 18 pages
- 169 Aman, S.A. (1996)** "Effects of chopped twig wood on maize growth and yields in the forest0savanna transition zone of Côte d'Ivoire" Institut desSavanes (IDESSA), Bouaké, Côte d'Ivoire. Université Laval, publication 169 22 pages
- 170 Gómez, C, Elersis R. (2003)** "Comparision of Two Sources of Ramial Chipped Wood on Maize (Zea mays) Yield" Universidad Pedro Henríques Ureña, Université Laval publication 170, 13 pages
- 173 Lemieux, G. (1997)** "Projet de développement intégrant la forêt, l'agriculture et les milieux ruraux en Afrique" Centre de Recherche en Développement International (CRDI) Ottawa, Université Laval. publication 173, 15 pages
- 174 Lemieux, G (1995)** "Compte-rewndu de la réunion exploratoire sur les mécanismes de pédogénèse à l'aide du bois raméal fragmenté" ACDI et CRDI, Ottawa, Université Laval publication 174, 20 pages

- 175 Lemieux, G. (1997) "Réunions concernant les suites à donner à celle de l'ICRAF de juin 1997 pour la mise sur pied d'un réseau de recherche et de mise en application des BRF en Afrique" ACIDI et CRDI, Ottawa Université Laval publication 175, 5 pages
- 176 Sá, T.D., de A. , Vielhauer, K., Kanashiro, M., Denich, M. & Vlek, P.L.G. (1998) "Towards Improving Natural Resources Use in Eastern Amazonia Through a Modified Sequential Agroforestry System" in Congresso Brasileiro em Sistema Agroforestais, Université Laval, publication 176, 7 pages.
- 177 Lemieux, G. (1989) "Rapport de mission en France du 4 au 17 mai 1989" Université Laval, publication 177, 19 pages
- 178 Anonyme (2003) "L'emploi des bois raméaux fragmentés et leurs applications en agriculture" Hydro Québec, Université Laval publication 178, 6 pages
- 179 Agre, P. & MacKinnon, R. (2003) " Les canaux hydriques et ioniques des membranes cellulaires" The Royal Swedish Academy of Sciences prix Nobel 2003, Université Laval, publication 130, 30 pages
- 180 Lemieux, G. (180) "Compte rendu de la réunion du 12 janvier 2004, Université Laval et Sain-Thuribe (Portneuf)" ACIDI et UPA International, Université Laval, publication 180, 5 pages
- 181 Anonyme (2004) "Stratégie canadienne en matière de biotechnologie" Gouvernement du Canada, Université Laval, publication 181, 80 pages
- 183 Lemieux, G. (1996) " La tenure de la forêt québécoise" Université Laval, publication 183, 10 pages
- 184 Lemieux, G. (2004) " Une alliance entre forêt et agriculture pour sauver les sols et l'eau en voie de perdition à travers des milliers de conflits territoriaux et ethniques" Université Laval; publication 184, 11 pages
- 185 Lemieux, G. (2004) "Soil fertility and water availability, the main ingredients for conflicts of all kind throughout the world" Université Laval, publication 185, 9 pages.
- 186 Henry, D. (2004) "Les sols: réflexions dans une perspective d'aide au développement" ACIDI, Ottawa et Université Laval, publication no 186, 4 pages
- 187 Lemieux, G. (2004) "La forêt, trame honteuse de notre société: pourquoi?". Mémoire à la Commission d'Étude sur l'avenir de la forêt, Université Laval, publication 187, 57 pages
- 188 Anonyme (2004) "Revalorisation de l'agriculture africaine par une gestion de la fertilité respectueuse des mécanismes pédogénétiques" ACIDI, Ottawa Université Laval, publication 188 6 pages
- 189 Chotte, J.L. (2004) "Optimisation des systèmes agroforestiers: gestion des litières dans les rotations courtes, jachères arborées" IRD, ISRA, UCAD, Dakar, Sénégal Université Laval, publication 189, 4 pages
- 190 Brown, L.R. (2004) "Assessing the Food Deficit: the Food Prospect" The Earth Policy Reader, Université Laval, publication 190 30 pages
- 191 Bammer, A. (2004) " Fragmentiertes Zweigholz" Permakultur Austria, Autriche, Université Laval, publication 191, 2 pages
- 192 Keeley, James and Scoones . Ian (2004) *GLOBAL SCIENCE, GLOBALPOLICY: LOCAL TO GLOBAL POLICY PROCESSES FOR SOILS MANAGEMENT IN AFRICA* publication #115, 42 pages
- 193 Corman, Bruno (2004) "**Rôle des aquaporines dans le maintien de l'équilibre hydrique**" Service de Biologie Cellulaire, CEA, Centre d'Études de Saclay, Gif-sur-Yvette, 91191 France 13 pages Tiré-à-part Université Laval
- 194 Greenhill, Robert (2005) "**Making a difference? External Views on Canada's International Impact** " Institut Canadien des Affaires Internationales 25 pages Tiré-à-part Université Laval
- 195, Maini, J.S. (2004) " **Future arrangement on Forest**" PNUD, Ottawa 30 pages, Tiré-à-part. Université Laval
- 196 Henry, D. (2005) "**La fracture agricole mondiale**" Conférence de Dakar Agricole, 4-5 février 13 pages Notes de la conférence Université Laval publication n° 196.
- 197 Henry, D. (2005) "**Agriculture, développement durable, environnement....et les gens: un cube de Rubick**" conférence donnée au Glendon College de Toronto, 20 pages ACIDI et Université Laval, publication n°197.
- 198 Voloshchuk, Nataliya M. (2005) "**Les micromycètes des BRF de feuillus et leurs propriétés écobiologiques sur les podzols dégradés de la steppe forestière nordique d'Ukraine Forêt expérimentale de Boyarska**" Département de Phytopathologie Université Nationale Agraire d'Ukraine Institut Botanique Académie des Sciences d'Ukraine Kiev traduction française du sommaire 3 pages, texte original en ukrainien Université Laval, Département des Science du Bois et de la Forêt.
- 199 Voloshchuk, Nataliya M. (2005) "*Micromycetes of the ramial chipped wood of deciduous and their ecologically-biological properties in sod-podzol soil of Ukraine, North Forest-steppe; Boyarska Experimental Forest*" English summary from ukrainian 3 pages Department of Phytopathology. National Agrarian University of Ukraine. National Academy of Sciences of Ukraine 13, Gerpjiv oborony str, 03041 Kiev Ukraine.
- 200 Bachelier, G (1965) "**La vie animale dans les sols**" ORSTOM, Paris, 280 pages tiré-à-part publication n° 200 Université Laval, Québec,

