

UNIVERSITÉ LAVAL

Faculté de Foresterie et de Géomatique
Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

sous la commandite partielle du
Le Centre de Recherche en Développement International
Ottawa, Canada
CRDI

Les entretiens de Mocquepoix
Les entretiens de Nancy
LES entretiens de Thierval-Grignon

«Le rapport de la mission européenne : la France»

du 20 au 28 mai 1996

par le

Professeur Gilles Lemieux

publication n°68d

Troisième édition
avril 2006

décembre 1996

édité par le

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Québec G1K 7P4
Canada

Publication n°68d

LA FRANCE

Troisième édition

avril 2006

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

Département des Sciences du Bois et de la Forêt

Faculté de Foresterie et de Géomatique

Université Laval

Québec G1K 7P4

QUÉBEC

Canada

courriel: gilleslemieux@sf.ulaval.ca

fax 418-656-5232

tel 418-656-2131 poste 2837

ISBN 2-921728-22-2

UNIVERSITÉ LAVAL

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

Rencontres et entretiens

sous la commandite partielle du
Centre de Recherche en Développement International
CRDI
Ottawa, Canada

«Le rapport de la mission européenne: la France»

du 29 mai au 17 juin 1996

par le
Professeur Gilles Lemieux

décembre 1996

Université Laval
Québec G1K 7P4
Canada

SOMMAIRE

	page
Le parc national de l'Estérel	150
La mission à Montpellier	151
LES ENTRETIENS	
Les entretiens de Mocquepoix	154
Commentaires	164
Sur les cycles de la matière organique forestière	166
Pourquoi des rameaux?	168
La stabilité des systèmes biologiques	174
Complexité de la structure et stabilité de fonctionnement	176
Le rôle du bois raméal dans les cycles biologiques	180
Les modifications du micro-climat	180
Le cycle de l'eau	181
Les équilibres (et déséquilibres) ioniques	182
Synthèse	183
Bibliographie	184
Conclusion	184
Les entretiens de Nancy	186
Conclusion	191
Les entretiens de Thierval-Grignon	192
Conclusion	203

La mission européenne: la France

du 28 mai 17 juin 1996

C'est à la suite d'ententes financières avec le CRDI, grâce à la compréhension de M. Jean-H Guilmette, qu'une bonne partie de cette mission a été possible et nous l'en remercions, mais une grande partie l'a été à nos frais personnels.

Cette mission se divise en plusieurs parties dont la première s'est effectuée dans la région du parc de l'Estérel sur la Méditerranée, la seconde à Montpellier, alors que la troisième a été à Mocquepoix au sud de Paris. Les deux dernières ont été à Nancy et à Grignon-Thierval dans la région parisienne.

Le parc national de l'Estérel et Saint-Raphaël

29 au 30 mai 1996

C'est en compagnie de M. Jean-Claude Tissaux, ancien étudiant de la Faculté de Foresterie et de Géomatique de l'Université Laval, que s'est effectuée cette première mission en terre française dont le but premier était d'évaluer la possibilité de mettre en place quelques parcelles dans le parc de l'Estérel avec des BRF produits sur place et apportés de l'extérieur. Pour ce faire nous avons visité l'ensemble de parc facilement accessible et fait la connaissance d'un des forestiers responsables.

J'ai été touché par la diversité et la beauté des lieux bien que sa fragilité par rapport au feu m'a semblé énorme. Le parc est composé de forêt de pin maritime et pin d'Alep puis de chênaie à chêne liège. Nous pensons avoir repéré quelques centaines de mètres carrés à la sortie nord du parc qui pourraient faire l'objet

d'essais près d'un étang. Il faut noter la présence d'un houx (*Ilex aquifolium*) de plus 50 cm de diamètre alors que j'étais persuadé que cette espèce était un arbuste.

Un autre but de cette visite était de visiter de petits essais faits sur la propriété de M. Tissaux avec des BRF (*Platanus acerifolium*) l'année précédente. Les transformations du sol, par rapport aux témoins, étaient pour le moins remarquables. Alors que le témoin avait un sol ayant presque la résistance du béton, le sol traité était d'une souplesse remarquable et on pouvait facilement pénétrer à 20 cm à main nue. Le résultat est du même ordre que celui observé chez ^{Mme} Smeesters à Saint-Bruno (QUÉBEC) quelques années auparavant.

Nous avons longuement discuté de la réceptivité de nos idées dans la région pour conclure avec un certain pessimisme sur l'ouverture des esprits. Des essais sont prévus pour 1997. C'est par l'exemple qu'il faut procéder au pays de Parmentier en incitant au plagiat.

La mission à Montpellier: le Réseau des Zones Arides Centre National de la Recherche Scientifique

31 mai 1996

C'est lors de la publication d'un de mes articles dans la revue *Écodécision*¹ que M. Charles Rouchouse est entré en contact avec moi, dans le but d'offrir la publication de cet article dans le cadre du Réseau des Zones Arides. Du même coup, il m'offrit de faire partie de ce réseau qui a son siège à Montpellier et de supporter à la fois par le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) et de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique pour les Territoires d'Outre-Mer)

¹ Lemieux, G. (1995) «Passer de l'enthalpie à l'entropie» *Écodécision* hiver '95 p.72-73. 3

J'en ai déduit que, lors de mon passage dans la région, il me fallait prendre contact personnellement avec M. Rouchouse pour explorer diverses possibilités de coopération en France, mais surtout au Sénégal. Je profite de l'occasion pour introduire M. Tissaux dans les cercles de la recherche scientifique pouvant mener à la promotion, la recherche et l'utilisation des BRF. Nous avons présenté le mémoire de fin d'étude de M. Tissaux². qui méritait bien de l'être à cause de sa facture et de sa clarté dans un domaine où les lumières de l'esprit n'ont pas encore fait leur entrée.

Les discussions, d'une durée de deux heures, m'ont permis de constater que l'ouverture du côté de l'ORSTOM était, à toute fin utile, inexistante parce que l'organisme est soit en voie de restructuration ou de disparition dans le contexte économique actuel. Néanmoins, plusieurs points positifs se sont dégagés de nos entretiens.

a) M. Tissaux est maintenant membre du réseau des zones arides (RZA), lui donnant accès aux publications et pouvant également être publié éventuellement.

b) À chacun de mes passages en France, M. Rouchouse s'engage à m'offrir une tribune pour parler pédogénèse, BRF etc... A condition qu'il puisse être prévenu à l'avance.

c) Il suggère à M. Tissaux d'entrer en contact avec le Prof. Edouard Le Floc'h, dont les travaux portent sur la compréhension de l'évolution des sols de la garrigue dans le contexte méditerranéen. M. Tissaux a pris cette initiative mais il semble que M. Le Floc'h n'ait pas saisi l'ampleur de la question.

d) Ceci nous vaut la suggestion de faire paraître un article dans la revue "*Nature Science et Société*", revue qui circule dans les

-Tissaux, J-C. (1996) «Une revue bibliographique des principaux mécanismes pédogénétiques pour caractériser le rôle du bois raméal fragmentés (SRF) dans le processus d'humification» Université Laval, Groupe de Coordination sur les Bols Raméaux publication no 60 34 **pages** ISBN 2-921728-18-4.

milieux scientifiques et intellectuels de France. L'article sera soumis avant la fin de 1996.

e) Enfin, M. Rouchouse suggère l'établissement d'un dépôt sous forme de «*Fonds documentaire Gilles Lemieux*» au CEFE (Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Évolutive).

À la suite de ces démarches, les commentaires de M. Tissaux font état du peu d'ouverture d'esprit des institutions contactées et d'une certaine déception de sa part.

LES ENTRETIENS

avec les Professeurs

Michel Godron

4 JUIN

François Toutain

13 JUIN

Augustin Scalbert

17 JUIN

Lors de chacun de ces entretiens, mes interlocuteurs ont accepté l'enregistrement sur bande magnétique des propos échangés que j'ai légèrement modifiés passant de la langue parlée à la langue écrite. Ce sont ces propos qui appararront dans les pages qui suivent et auxquels j'ajouterai quelques commentaires. Je profite de l'occasion pour remercier mes interlocuteurs d'avoir accepté de bon gré cette méthode de travail qui ne peut que faire avancer les concepts et mettre de l'ordre dans les idées préconçues.

Les entretiens de Mocquepoix

avec le
Professeur Michel Godron³
6 juin 1996

Ces entretiens se sont déroulés dans la maison de ferme de mon camarade et ami Jean-Claude Chaloché, dans le hameau de Mocquepoix, toujours dans les mains de la famille Chaloché et dont l'origine remonte au 15^{ème} siècle, situé à quelques kilomètres de Montargis (Loiret) au sud de Paris, ils ont débuté vers 17 heures et se sont terminés dans la nuit autour de l'excellente table de M. et Mme Chaloché.

1 • **Michel Godron** - Dans le domaine qui nous intéresse les problèmes d'équilibres sont essentiels parce que la vie par rapport à ce qui est inanimé est la création d'équilibres métastables. Je pense que ce que vous faites permet « d'accrocher » un équilibre métastable d'une qualité supérieure. Voilà ce que j'aimerais bien essayer de préciser si vos essais démontrent qu'il y a quelque chose qui permette d'apprécier la stabilité.

J'ai été un peu embarrassé par rapport à ce que vous avez écrit sur l'entropie/enthalpie. Je veux bien regarder la question avant de l'aborder avec vous. Quoi qu'elle n'est pas très compliquée, tout en étant un domaine très précis, l'on risque de se déconsidérer si l'on n'est pas assez strict sur la question.

Je comprends très bien que l'entropie soit pour vous un critère, mais en ce qui regarde l'enthalpie je n'en suis pas sûr. C'est l'entropie qui s'oppose à la vie sans s'opposer à l'enthalpie : ce sont deux choses qui ne sont pas tout à fait symétriques.

³Le Prof Godron est forestier de formation et a été associé au CNRS de Montpellier dans le cadre du Centre de Phytosociologie Louis Emberger, puis au Laboratoire de Systématique et d'Ecologie Méditerranéennes, Institut Botanique, Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Ces dernières années il s'est intéressé à l'écologie des paysages en association avec des collègues américains. Il est maintenant à la retraite mais toujours très actifs dans le domaine de l'écologie.

L'enthalpie est un caractère véritablement important pour les réactions chimiques se définissant à pression constante.

En ce qui regarde les phénomènes qui se passent dans le sol et dans la nature en général, la pression est relativement constante. En thermodynamique tout peut varier ; température, pression, volume, etc. Il y a donc une sous-famille à pression constante, essentiellement des réactions chimiques pour lesquelles l'enthalpie est une variable importante.

L'entropie est beaucoup plus générale puisqu'elle ne concerne pas les variations à pression constante, mais aussi bien les machines, les moteurs à explosion, etc., y compris le système solaire. Ici on arrive à définir et à mesurer, à une constante près, la quantité d'entropie contenue dans ceci ou inversement la quantité d'information dont le calcul est très théorique et pour lequel je ne connais pas beaucoup d'applications pratiques.

On peut dire que les phénomènes biologiques sont une réduction de l'entropie.

2 • Gilles Lemieux - Comment peut-on exprimer la perte d'énergie en fonction de la vie. Quelle est la valeur de cette déperdition énergétique ? Si vous n'émettez plus d'énergie, vous êtes mort.

3 • Michel Godron - Tout ce qui est à une température différente du zéro absolu émet de l'énergie rayonnante ou radiative. Émettre de l'énergie n'est en soi qu'une catastrophe et l'énergie radiative émise par tous les êtres vivants est fonction de leur métabolisme et de leur température qui est la loi de Stéphan, et même de la puissance quatrième de leur température. Les émissions augmentent énormément lorsque la température augmente.

Pour ce qui est des énergies non radiatives, un individu vivant ne consomme pas d'énergie et n'en donne pas non plus, ce

qui donne un bilan nul. L'énergie radiative qu'il émet c'est l'énergie qu'il a puisé dans ses aliments. Pour les végétaux c'est encore plus simple, c'est tout simplement une question de longueur d'onde, celles reçues et celles réémises, qui sont plus longues, correspondant à une acquisition d'information.

4 • Gilles **Lemieux** - Ceci correspond à deux spectres différents !

5 • Michel **Godron** -Entre les deux spectres, on récupère quelque chose. Cette acquisition d'information et de structure permet de construire les mécanismes de stabilisation. Voilà où tout se passe.

Je pense à quelque chose que vous m'avez écrit aussi en ce qui regarde les théories de Prigogine qui a tout à fait raison. Je ne l'ai pas rencontré, bien que j'aie failli travailler avec lui. Il a tout à fait raison de s'intéresser aux systèmes ouverts et à ceux qui sont en déséquilibre.

Il est certain qu'une partie des choses qu'il a découvertes doit jouer dans les processus biologiques. L'ensemble de la biosphère, y compris le sol et la basse atmosphère est un système fermé. Elle ne reçoit que peu d'énergie provenant du fond de la terre, tout à fait négligeable par rapport à ce qui la fait fonctionner. Il en vient un peu par les aérolithes, par contre ce n'est pas un système isolé. Ici les américains ne font pas souvent la distinction entre un système fermé et un système isolé.

Prenons le système isolé qui est le plus compact. Il n'échange ni matière ni énergie avec l'extérieur et, pratiquement, il faut que ce soit une boîte noire réfléchissant le rayonnement qu'elle pourrait recevoir, tout fonctionnant à l'interne.

Un système fermé ne reçoit pas de matière, mais il peut recevoir de l'énergie, ne serait-ce que si on le chauffe.

Pour ce qui est des systèmes ouverts, ce sont ceux qui reçoivent de la matière. Ce sont ces derniers auxquels Prigogine

s'est intéressé. Il est évident qu'un système dans lequel on introduit de la matière se met à donner des structures qui sont tout à fait remarquables et qui existent certainement dans certains processus.

La biosphère est le cas intermédiaire d'un système qui reçoit de l'énergie et qui en renvoie, mais qui est fermé, n'échangeant pas de matière avec l'extérieur. Ce que fait Prigogine ne joue pas pour l'ensemble de la biosphère.

Il peut donc y avoir à l'intérieur de la biosphère des sous-systèmes qui seront ouverts. Nous sommes des systèmes ouverts alors que la plante est un système presque fermé sans être isolé. Elle n'est pas fermée pour l'eau ; elle en absorbe et en recrache ce qui est indispensable, mais en ce qui regarde les éléments minéraux, elle en absorbe un peu mais se nourrit fondamentalement par absorption ; elle est autotrophe.

6 • Gilles Lemieux -Toutefois, elle accumule et, par la fragmentation nous brisons cette fonction d'accumulation qui n'a jamais été imaginée jusqu'ici.

7 • Michel **Godron** - Dans un système naturel forestier, il n'est pas nécessaire de briser les rameaux. Comment se fait-il qu'il faille les briser si ce n'est que pour remettre en circuit les nutriments. Est-ce pour donner un coup d'accélérateur ?

8 • Gilles Lemieux - Il n'en est rien. Nous cherchons ainsi à « perpétuer » ou à remettre en selle des équilibres « métastables » qui ont leur origine à partir de la dépolymérisation de la lignine native des microracines des arbres, particulièrement en ce qui regarde les Dicotylédones ligneuses. Ces microracines représenteraient entre 2 et 6 t/ha/an. C'est là la source des oligomères pouvant donner les fractions fulviques et humiques du sol.

9 • Michel **Godron** On remplacerait donc cette source en y appliquant des rameaux ; ce que vous ne m'avez pas dit dans vos lettres.

10 • Gilles Lemieux Plusieurs travaux américains et anglais (Tien, Kirk, Swift, Ratnayake, Perry, etc.) montrent que la majorité des produits de la photosynthèse sont dirigés vers le sol chez les Dicotylédones (entre 70 et 80 %), alors que seulement 30 à 40 % le serait chez les Monocotylédones. Ceci expliquerait qu'en l'absence d'une source aussi importante, il n'y aurait presque plus d'énergie polir faire fonctionner le système hypogé.

L'autre phénomène extrêmement intéressant que nous avons observé est l'augmentation très importante de rendement, après l'application des BRF, accompagné d'une diminution de la consommation en eau. Il semble donc de plus en plus évident que l'eau est conservée comme un nutriment dans un écosystème forestier. Elle se loge à l'intérieur de la biomasse microbienne, elle est limitée dans ses pertes *par* évaporation à cause du rôle que jouent les membranes hémiperméables, tout comme elle est à l'abri des concentrations en sel importantes dans la solution du sol, ce qui la rendrait inaccessible aux plantes. Elle devient donc disponible aux plantes selon le type de métabolisme, tant de la plante que des divers autres niveaux trophiques.

L'autre question « existentielle » est celle touchant la faim d'azote lorsqu'on applique les BRF aux sols agricoles. Il semble que la vie microbienne, et en particulier celle des Basidiomycètes, récupère tout l'azote disponible pour élaborer leurs systèmes enzymatiques propres à gérer les ressources en nutriments sur place. On estime que les Basidiomycètes possèdent une soixantaine de systèmes enzymatiques différents (protéiques) qui se développent selon les « rencontres » dans le sol. Vous avez ainsi tout un monde de contrôles biologiques touchant les nutriments et les relations organominérales.

12 • **Michel Godron** - Vous semblez accorder peu d'importance aux mycorhizes.

13 • **Gilles Lemieux** Il faut comprendre que les endomycorhizes appartiennent à la classe des Zygomycètes et que les ectomycorhizes peuvent se rencontrer parmi les Basidiomycètes et les Ascomycètes. Les mycorhizes sont capables de jouer plusieurs rôles simultanés dans leurs relations symbiotiques avec les plantes-hôtes. D'autre part, il ne fait aucun doute à l'effet que les mycorhizes aient une relation de « coopération » avec plusieurs autres espèces de Basidiomycètes dans l'activité de la microflore édaphique, notamment après l'application des BRF.

14 • **Michel Godron** - Ces mycorhizes ne seraient-elles pas un maillon important du système ?

15 • **Gilles Lemieux** - Très certainement important, mais nous estimons que ce maillon demande à être encore mieux connu.

16 • **Michel Godron** - Sait-on classer ce maillon par rapport au reste ?

18 • **Gilles Lemieux** - Non, et dans l'état actuel de nos moyens et de nos connaissances, il serait bien téméraire de se précipiter dans une telle aventure. Lors du dernier colloque de 1993, plusieurs ont attaqué ce sujet et il semblerait que des éléments se dessinent dans cette optique.

19 • **Michel Godron** - Je connais à Montpellier un chercheur plus jeune que moi et qui est très actif sur les mycorhizes. Son nom est Daniel Mousain (INRA ENSAM, École Supérieure d'Agronomie de Montpellier).

20 • **Gilles Lemieux** - En Amérique, et au Québec en particulier, on a considéré les mycorhizes comme un «Bon Dieu» en y injectant de grandes quantités d'argent et d'efforts. C'est en tombant sur

les travaux de l'école de Corvallis aux USA (Perry, Amaranthus, Borchers, Brainerd, etc.) que j'ai pu comprendre qu'il y avait un grand nombre de pistes autour des mycorhizes qui n'avaient pas été reconnues, en particulier à cause de l'absence de possibilités de passer par la méthode expérimentale. Or les BRF nous fournissent cet accès à cette méthode incontournable dans le monde des sciences. Comment trouvera-t-on cette relation, je n'en sais rien pour le moment, mais elle est très certainement constante sous tous les climats et dans tous les sols. Le D^r Valentin Furlan, très impliqué au niveau international, est l'éditeur du Répertoire International des Mycorhizologues depuis 1981 et qui vient d'être confié à Springer-Verlag en 1996.

21 • **Michel Godron** - Le temps est loin où l'on connaissait tout des mycorhizes dans le monde, c'est-à-dire à moins de 10 km de certaines universités, celles qui s'y intéressaient.

22 • **Gilles Lemieux** - La question des mycorhizes me semble de plus en plus comme un élément dans le paysage.

23 • **Michel Godron** - Une autre question que je me pose, en ce qui regarde les résineux, est de savoir pourquoi doit-il y avoir des mycorhizes comme pour apporter un remède à un fonctionnement qui ne se fait pas correctement.

24 • **Gilles Lemieux** - Après avoir longuement discuté de la structure de la lignine avec le Professeur Jacques Doucet, qui enseigne chez nous la chimie du bois, nous en sommes arrivés à la conclusion que la lignine des conifères ne possède qu'un seul groupement méthoxyle sur ses cycles benzéniques. Il suggère que la position 5 sur le noyau benzénique pourrait être responsable de bien des difficultés en ce qu'elle est extrêmement active, provoquant l'apparition de composés secondaires peu propices à l'équilibre comme de nombreux polyphénols, des acides gras comme l'acide linoléique, etc...

A bien y penser, ceci relèverait plutôt d'un mécanisme de concurrence. Ceci dit, les conifères élimineraient ainsi tous les concurrents. J'ai compris cela en partie lorsqu'en arrivant à 2 000 m d'altitude dans la partie occidentale de la République Dominicaine, au 15° de latitude nord, j'avais devant moi une pinède de *Pinus occidentalis* ayant tous les caractères de la forêt boréale au Québec. L'agriculture y est impraticable à toute fin utile.

On a toujours dit que les conifères ne poussaient que dans des conditions froides et humides donnant des sols fortement podzolisés. Le fer y migre pour d'autres raisons que celles du climat.

25 • Michel **Godron** - Bien que je ne l'ai pas vu personnellement, on trouve des podzols en Guyane au niveau de la mer à l'équateur.

26 « Gilles Lemieux - Depuis ce jour, je ne considère plus de la même manière les effets dus au climat sur la podzolisation ou la fertilisation.

Nous avons donc, par la suite, regardé l'évolution des populations végétales en fonction des trois types de lignine : celle des conifères avec un seul groupement méthoxyle, celle des feuillus (Dicotylédones) avec deux groupements méthoxyles bien équilibrés sur le noyau benzénique ainsi que celle des Monocotylédones où il y a un mélange des deux, plus des noyaux benzéniques dépourvus de groupements méthoxyles. Cette dernière caractéristique donnera des tchernozems ou des rendzines ou bien des sols à structures instables à l'eau, sous un climat plus sec.

L'évaluation d'un bon sol forestier portera sur la présence ou non d'agrégats stables à l'eau, comme dans les sols agricoles. La réponse à apporter ici tient au fait que les Basidiomycètes

produisent des polysaccharides qui lient des particules organiques et minérales.

27 • Michel Godron - 'La question que je me pose à ce stade-ci est de savoir pourquoi notre bonne mère nature n'a pas tout remplacé les conifères par des feuillus ?

28 • Gilles Lemieux - Elle l'a fait en bonne partie !

29 • Michel Godron Ne serait-ce pas parce que les feuillus ne datent que de 50 millions d'années ou à peu près ?

30 • Gilles **Lemieux** - Oui, mais les feuillus sont arrivés avec une lignine différente.

31 • Michel **Godron** - Les feuillus ont une série de caractères plus perfectionnés que les résineux et tout doucement ils les chassent, mais ils n'ont pas acquis les moyens de résister aux conditions difficiles des conifères.

32 * Gilles Lemieux - Les feuillus représentent un cas qui est loin d'être unique dans la nature. Le perfectionnement nécessite souvent des conditions plus fragiles.

Un des drames qui suit est l'absence total de moyens pour tout écosystème feuillu de refaire le sol dont il dépend si la perturbation est trop grande.

33 • Michel **Godron** - Un autre phénomène me semble également très important en ce que pratiquement toutes les réactions biologiques sont de type logistique. L'amorçage est difficile, la production reste faible parce que les boucles de stabilisation sont en train de se monter. C'est presque exponentiel au départ, mais à partir d'un certain moment il y a des rétroactions négatives qui apparaissent et on termine près d'une asymptote.

Ceci me semble fondamental et c'est de cette façon que l'évolution se fait. Qui dit rétroaction négative et inflexion dit stabilisation par un mécanisme d'équilibre. La vie est donc un système d'équilibres de plus en plus complexe.

34 • Gilles Lemieux - Cette dépolymérisation de la lignine donnerait justement ces polyphénols qui stabilisent tout le système

35 • Michel **Godron** - Constatez-vous que cette synthèse commence à se manifester dans la littérature?

36 • Gilles Lemieux - Voici un document que je viens de produire à ce sujet qui est dédié à mes successeurs : « Ce monde caché qui nous nourrit : le sol vivant ». Ces successeurs sont ces étudiants dont je vous ai parlés. Ce document tend à faire la synthèse sur ce que nous connaissons à travers l'expérimentation et la littérature sous la forme de 16 hypothèses avec une bibliographie actualisée. Je ne puis faire plus, de crainte de passer pour un imbécile de première grandeur.

A la suite de la présente tournée dans différents pays, je vais essayer de faire d'autres synthèses de plus en plus poussées sous la forme d'un rapport de mission qui sera complexe, touchant à la fois la République Dominicaine, le Sénégal, le Kenya, l'Ukraine, la France et la Belgique. Je dois toujours procéder de la sorte pour que ces idées et ces faits ne se perdent dans la nuit des temps pour ne pas dire dans le néant.

37 • Michel **Godron** • Il y a l'INTERNET où on ne s'astreint plus à rédiger et à mettre en phrases; tout est devenu images. On y gagnera autre chose, mais les conditions de transmission seront fondamentalement modifiées.

Toutefois, je pense que ceci peut être inséré dans un cadre plus général et un peu plus formel qui est celui de l'ensemble des phénomènes biologiques.

j'ai connu Vitousek qui dit des choses très intéressantes, étant l'un des seuls à réfléchir sur les équilibres. Il connaît bien les milieux tropicaux.

Il faudrait que je songe à un article d'une dizaine de page pour situer ceci dans l'ensemble des phénomènes biologiques pour amorcer une discussion. Il pourrait y avoir des relations intéressantes.

Commentaire

De telles discussions sont d'une valeur incommensurable et permettent la remise en perspective de nos connaissances qui, sous plusieurs angles, nous semblent bloquées à l'intérieur de schémas qui remontent souvent au moins un siècle en arrière. L'expérience humaine que nous avons accumulée au niveau de la perception du sol, nous le démontre à tous les jours.

Les échanges sur la thermodynamique et les notions d'entropie et d'enthalpie m'ont souligné mon manque de compréhension de ces notions, bien que la rationalité n'en soit aucunement affectée. Les commentaires du Prof. Godron, sur l'émission ou non d'énergie, sont tout à fait pertinents mais c'est en discutant des systèmes isolés, fermés ou ouverts que les choses sont devenues plus limpides.

Les discussions amorcées sur les mycorhizes m'ont quelque peu étonné en ce que ces mycorhizes ne sont que des «échangeurs» biologiques, une partie importante de la «machine» et de son fonctionnement.

La notion de «climat», contrôlant la vie des écosystèmes, me semble également une voie de discussions importante dans l'avenir. Cette notion ne tient que dans la perspective de contrôles physiques et chimiques; la biologie, l'évolution et le temps étant des paramètres exclus dès le départ.

La relation feuillus-conifères, dans une perspective de compréhension des écosystèmes forestiers, n'a que très peu été soulevée même si j'ai insisté et essayé de démontrer les effets de la biologie sur

les différents types de lignine. Il y a là aussi des choses très intéressantes à discuter dans des rencontres à venir.

Une allusion à la stabilité par la complexité a été également une approche très intéressante qui a fait l'objet de réflexions plus profondes au niveau de tous les écosystèmes dans les échanges qui ont fait suite et qui sont présentés dans les lignes qui suivent

*Sur les cycles de la matière organique forestière**

Godron, M. & Lemieux, G.

Dans les semaines qui ont suivi l'entretien de Mocquepoix, le Professeur Godron me faisait parvenir le texte qui suit comme ses propos le laissaient entendre à l'époque. La qualité de ce texte est telle que j'ai mis beaucoup de soins à commenter, paragraphe par paragraphe, ici légèrement en retrait et en caractères italiques. Le lecteur comprendra la largeur de vue du Prof. Godron et sa compréhension des notions de physique et de mathématique dans la définition de la partie de l'univers qui nous touche ici. Il ne faudrait pas croire que le premier accrochage soit d'origine sémantique, bien au contraire il est à l'origine même du débat de fond.

Mes premiers commentaires portent sur le titre et tout particulièrement sur le choix et l'utilisation du terme de «matière organique**». C'est un terme générique qui ne couvre aucune réalité biologique en ce qu'il est la somme d'une infinité de formes de matière d'origine végétale ou animale. On connaît actuellement près de 3 000 000 de polyphénols, l'une des principales caractéristiques des «résidus végétaux». Ce terme vague, mais très utilisé par ailleurs, a été à n'en pas douter, le «fossoyeur» de l'évolution des idées sur la structuration de la végétation et du rôle régulateur que joue le sol dans son évolution, j'ai donc dû me rabattre sur un thème qui traduisait la dynamique pour en exclure la statique représentée par le terme de matière organique. J'y ai préféré le terme **d'humus**, non descriptif, mais qui a le privilège de pouvoir renfermer l'ensemble des phénomènes biologiques (flore et faune), chimiques, physico-chimiques et physiques. Vous n'avez sans doute rencontré que très peu de fois ce terme dans mes publications, si ce n'est que pour le traiter comme non significatif et non avvenu. En réalité, c'est un des nombreux termes d'origine agricole qui jalonnent le discours forestier,*

mais uniquement par mimétisme, sans aucune justification si ce n'est celle de la tradition et de l'absence de réflexion. La «pédogenèse» sera donc la somme des phénomènes dynamiques et statiques qui président à la formation, au maintien et au déclin de l'humus, dans un contexte physique et chimique soumis à l'influence de la végétation et de la géologie locales. Dans cette optique, le terme de «matière organique» sonne plutôt ridicule à l'oreille de celui qui s'y arrête.

Ces commentaires ne sont que la pointe de l'iceberg de ce que m'ont suggéré le terme et les concepts qui résultent de «BOIS RAMEAL».

Les travaux de G. Lemieux (1983/1996), récemment commentés par Jean-Claude Tissaux (1996) qui en donne une bibliographie complète ont attiré l'attention sur l'importance de la décomposition du bois des rameaux dans les cycles biogéochimiques. Il est possible aujourd'hui de replacer ces phénomènes dans la perspective de l'évolution générale des systèmes biologiques pour mieux les comprendre en posant deux questions:

- quelles sont les raisons pour lesquelles il existe du bois raméal?
- pourquoi les bois des rameaux auraient-ils, lorsqu'ils se décomposent, une action particulière sur l'évolution des sols?

a) Plusieurs commentaires méritent d'être apportés ici:

1) j'ai corrigé les dates, puisque plus de 60 publications ont paru sur le sujet, et les dernières datent du printemps 1996. Elles apportent toutes des données et des perspectives nouvelles.

2) Le terme de «décomposition», si cher au vocabulaire agricole m'a semblé totalement inadéquat en ce que la transformation des BRF, tout comme dans des conditions forestières données, se fait par évolution positive, en donnant des produits dérivés et de l'énergie qui participent à la gestion du milieu au point de vue chimique, physico-chimique et physique, sous l'instigation de niveaux trophiques complexes et autorégulés à partir d'une

résultant des phénomènes de transformation.

b) Encore une fois, le terme de décomposition a une origine et une connotation agricole indubitable qui n'a rien de commun avec ce dont il est question ici. Tout comme pour la «matière organique», la décomposition ne couvre rien si ce n'est qu'une forte dose de méconnaissance et surtout d'ignorance, que toute la littérature a soigneusement entretenue et reproduit au fil des décennies.

3) C'est en associant la structure du système racinaire aux BRF qu'il nous est possible de commencer à comprendre pourquoi les BRF ont une influence supplétive par l'intermédiaire de la lignine native

*4) Enfin, voir et comprendre le terme de «bois raméal» comme une entité, serait commettre une erreur, puisqu'il s'agit uniquement des nombreuses terminaisons de la tige, le siège de la photosynthèse, dont la composition varie en fonction de l'âge et des saisons, mais toujours associée aux nutriments chimiques et biochimiques dont la source unique est le **glucose**.*

1. Pourquoi des rameaux?

1.1 Rappel historique

Au cours de l'évolution, depuis l'origine de la vie, les rameaux sont apparus relativement tard, car plusieurs innovations ont dû les précéder. Il faut les rappeler, au moins brièvement, si l'on veut comprendre ce que les bois raméaux représentent dans l'ensemble des êtres vivants.

*a) Il me faut, dès le début, signaler que toute votre approche se situe uniquement dans une perspective physique en traitant les rameaux comme une entité ou un organe capteur de photons. Or, les concepts que nous avons élaborés tiennent compte **de** tous les aspects «in situ» dans le cadre d'un fonctionnement harmonieux. La fonction de capteur de photons par les feuilles perchées sur des rameaux est le résultat de l'évolution que nous*

observons et connaissons; quoi que fondamentale, elle peut être également remplie sous une autre forme et par d'autres organes.

b) Ainsi, les photons assurent la synthèse des composés organiques mais dont la source principale et unique sera le glucose à partir duquel tout va s'élaborer. Alors que la tige des arbres représente le stockage des résultats de la photosynthèse avec, en prime, une action physique assurant un accès privilégié aux photons, les rameaux devront être le siège principal de toutes les activités et de toutes les combinaisons permises ou suscitées. Ce sera à partir de ces rameaux ou de leurs pendants dans le sol, les petites racines qui à l'instar des rameaux contiendront une substance unique, la lignine native. Ce sera la base même de l'élaboration d'un «autre monde»: le sol avec ses nombreux niveaux trophiques qui fera la gestion des nutriments, où pour une seconde fois, la lignine viendra structurer le milieu tout en contribuant à son équilibre

Il faut se souvenir que les êtres vivants sont restés cantonnés dans les océans pendant plus de 3 milliards d'années et qu'ils n'ont entamé la conquête des continents qu'à la fin du Cambrien. Dans les océans, les premiers végétaux pluricellulaires étaient des Algues portées par l'eau, qui n'avaient aucun besoin d'acquiescer une structure rigide: les algues sont, de fait, constituées d'un thalle, sans tige, ni racines, ni feuilles, ni fleurs, et elles appartiennent à l'embranchement des Thallophytes.

*c) Ces Algues, en plus d'avoir un accès direct aux photons en ont un autre avec les nutriments chimiques dissous dans l'eau de mer ou l'eau douce selon le cas. Comme elles n'ont pas su utiliser leurs sous-produits, elles sont condamnées à donner naissance à d'autres chaînes de vie ou former des produits organiques riches en énergie qu'elles n'ont pas été capables d'utiliser elle-mêmes à l'intérieur de cycles complexes. A partir **des noyaux benzéniques**, elles ont été condamnées à produire **le pétrole ou des dérivés plus simples comme le méthane.***

Après avoir passé plusieurs milliards d'années dans les eaux, les êtres vivants ont trouvé le moyen de conquérir les continents. Les premiers végétaux terrestres sont peut-être des algues, mais plus vraisemblablement des lichens, Thallophytes eux aussi, qui cessent presque complètement de fonctionner pendant de longues périodes de sécheresse et qui sont «reviviscentes» dès qu'ils sont à nouveau imbibés d'eau. Ils sont constitués par une Algue et un Champignon qui vivent en symbiose, la première utilisant la photosynthèse, et le second procurant des aptitudes biochimiques complexes. Sous nos yeux, les Lichens sont encore les premiers colonisateurs des milieux extrêmement arides que sont les rochers, les dalles de béton, les tuiles des toits.

d) Voici un autre lien qui mériterait d'être mieux connu les champignons, devenant par la suite, les êtres vivants les plus aptes à «digérer» la production primaire apportée par les BRF (ou tout autres résidus végétaux). Bien plus qu'une activité de décomposition, les champignons les plus évolués (Basidiomycètes) sont capables d'une activité de «recomposition», en utilisant l'énergie des photons captifs dans les substances organiques avec occasionnellement l'énergie provenant de l'oxydo-réduction. C'est en utilisant le bout de la chaîne des polysaccharides (sucres-celluloses-hémicelluloseslignine) que les champignons parviennent à structurer un nouveau milieu hypogé, où tous les êtres vivants sont conviés à utiliser à la fois l'énergie et les nutriments disponibles apportés par les débris, mais surtout par l'activité photosynthétique des dominants qui, dans le cas des forêts, sont les arbres (par voie racinaire).

Plus tard, les Mousses ont remarquablement innové en étant capables d'utiliser mieux les réserves en eau qui subsistaient dans les creux des rochers, ou sur les matériaux un peu poreux. Les «feuilles» des Mousses peuvent s'élever de plusieurs centimètres au-dessus du sol, dominer alors les Lichens et capter les photons du

rayonnement solaire avant que les Lichens sous-jacents, collés au sol. puissent les absorber.

e) La capacité des Bryophytes de capter les photons tout comme les Algues n'est qu'un maigre avantage sur les champignons, car les Mousses ne sont jamais en position biochimique pour initier un sol, sinon une caricature que sont les ((sols organiques» qui n'évoluent jamais, si ce n'est que pour se métaboliser en cas de changements fondamentaux du milieu. Il ne semble pas que ces Mousses soient en mesure par elles-mêmes ,de faire le tri parmi les polyphénols capables de susciter une évolution «positive» du milieu hypogé.

f Il est remarquable de constater que, dans la mesure où nous assistons à une dégradation de la forêt par sur exploitation, la strate muscinale devient de plus en plus importante et de plus en plus permanente en association avec la forêt coniférienne. Sous nos conditions de climat, ceci est particulièrement le cas en parallèle avec une repaludification.

g) En terminant ce commentaire, disons que les Bryophytes sont particulièrement mal adaptées à la productivité, et aucunement au «turn-over» comme le deviennent les champignons. Elles persistent malgré tout, parce qu'elles utilisent un espace laissé vacant dans l'évolution, résistant à toutes les compétitions mais sans plus, si ce n'est que la compilation de leurs débris dans les tourbières, tout comme les Algues au fond des océans.

h) Dans l'évolution des écosystèmes, les Mousses représentent des stades de stagnation ou de dégradation, retournant ainsi aux conditions primitives existants lors de leur apparition dans la chaîne évolutive.

L'innovation suivante est celle des Cryptogames vasculaires (fougères, prêles, etc.) et en particulier des Rhyniales, végétaux ressemblant à des joncs, qui se sont fossilisés dans les marais de Rhynie. Ils possédaient des vaisseaux qui leur ont permis de faire

monter la sève jusqu'en haut de leur tiges et ainsi de dominer les mousses sous-jacentes. C'est la course à la lumière, c'est-à-dire la chasse au photon, qui les a conduits à développer la structure de leur tige vascularisée, qui a été jusqu'à produire les Fougères arborescentes des immenses forêts du Primaire.

i) Si les Cryptogames vasculaires représentent une évolution certaine du point de vue biologique, il n'en est rien du point de vue de l'évolution des écosystèmes. Des grandes forêts du Primaire et du Secondaire, il n'est resté là également que des résidus fossilisés dont les charbons qui représentent une forme bloquée du carbone au même titre que dans les tourbes. Bien que nous sachions que les racines des plantes de ces époques lointaines possédaient des mycorhizes, il ne semble pas que des sols aussi évolués que ceux que nous connaissons actuellement aient existé, sans quoi, le carbone aurait été complètement métabolisé et l'énergie des cycles aromatiques dispersée.

j) Dans nos écosystèmes forestiers, les Fougères occupent encore aujourd'hui des strates intermédiaires. Elles ne forment jamais de grandes populations dominantes, capables de se maintenir en assumant le fonctionnement de tous les mécanismes pédogénétiques, physiques, chimiques et biologiques en milieux mésiques. Il semble donc que la présence actuelle des Fougères dans les forêts surtout climaciques, soit le résultat de la structuration du sol à partir des photons captés par les Algues (timidement dans nos sols), par les Mousses, mais surtout par l'arrivée inopinée des Gymnospermes capables de générer un sol tout en conservant les mécanismes d'exclusion des concurrents.

Les Fougères n'ont que des frondes et ne possèdent pas encore de vrais rameaux. Le «tronc» des Fougères ne comporte pas de bois secondaire, et celui des arbres actuels, qui en est doté, constitue un progrès significatif pour la résistance mécanique du tronc, puisqu'il grossit au fur et à mesure que l'arbre grandit. C'est seulement avec l'innovation du système complexe des faisceaux libéro-ligneux que

sont nés les rameaux, qui possèdent du bois secondaire et accumulent des réserves fraîches. Nous reviendrons sur ce point dans le second paragraphe après avoir réfléchi sur la nature des innovations successives qui ont jalonné l'évolution des êtres vivants.

k) Ici je diverge d'opinion avec vous sur l'importance de la vascularisation. Elle est un apport certain, et avec l'apparition des formations secondaires du bois, le garant d'une certaine pérennité. Toutefois, cette évolution n'est pas en parallèle avec la pérennité du système secondaire de gestion des nutriments, -à l'aide de l'énergie rémanente de l'activité de la photosynthèse. C'est le cas des forêts climaciques de feuillus. Tout comme dans le système économique qui gouverne les sociétés humaines, la richesse primaire que constitue l'accumulation d'énergie causée par un meilleur système de captation, pose un problème secondaire qui est celui de l'utilisation ou non des produits ainsi synthétisés.

l) Timidement, la forêt coniférienne a trouvé une méthode, bien qu'imparfaite, qui assure, dans un premier temps par la négative, une certaine gestion des nutriments. Ainsi, pour la première fois il existe un système qui assure la prédominance des arbres sur le sol généré par eux-mêmes. Toutefois, il est imparfait et ne parvient qu'à assurer l'élimination des concurrents. Le cyclage complet ne se fera vraiment qu'à certaines occasions, le plus souvent par l'incendie qui consumera l'imposante litière qui se sera accumulée. A l'inverse, la forêt feuillue générera un système qui assurera sa pérennité en multipliant les niveaux de vie, tout en acceptant tous les concurrents éventuels.

m) Il faut reconnaître que, jusqu'ici, bien peu a été fait au niveau de la compréhension. des mécanismes secondaires de cyclage à la fois des nutriments chimiques, biochimiques ainsi que de l'énergie. La génétique a rapidement conclu que la plante est un objet indépendant et que des modifications au

code génétique devait être l'objet de toutes les attentions ou en assurant de nouvelles configurations aux espèces existantes.

1.2 Stabilité des systèmes biologiques:

Au cours de l'évolution des êtres vivants, les innovations qui ont réussi sont celles qui ont acquis une stabilité suffisante pour résister aux perturbations. Une innovation peut subsister et se stabiliser, seulement si elle apporte un atout dans la lutte pour la vie, une plus grande capacité d'utilisation de l'énergie solaire, qui est à l'origine du fonctionnement de toute la biosphère.

a) L'une des principales innovations des systèmes forestiers de feuillus Dicotylédones aura sans doute été de permettre le cyclage in situ des produits secondaires et primaires issus de ce système complexe, basé sur la diversité et la concurrence plutôt que sur l'oligospécificité et l'élimination qui est l'apanage des Gymnospermes. Dans les conditions primitives, cette possibilité de gagner par élimination des concurrents fut sans doute une victoire importante, puisqu'elle a laissé ses traces jusqu'à aujourd'hui. C'est dans la transformation des produits de la photosynthèse, et particulièrement dans les dérivés phénoliques, qu'il faut regarder. Ils ne sont plus «inertes» et sont partie intégrante du fonctionnement d'un ensemble. L'énergie contenue dans les cycles benzéniques, tout comme celle des celluloses et hémicelluloses, serait mise à profit pour structurer le milieu pour un temps seulement. Cette innovation ne sera stable temporairement et devra faire appel à des catastrophes naturelles, comme le feu, pour redonner les nutriments nécessaires au rétablissement de l'écosystème. Cela est dû au fait qu'il est impossible de procéder au cyclage par biodiversité accrue. Ici la dépolymérisation de la lignine donnera naissance à un grand nombre de polyphénols qui ne trouvent pas «preneur» dans d'autres cycles biologiques. en bonne partie à cause de la lignine de ces Gymnospermes.

b) L'atout ici est négatif et ne permet que maintenir dans des conditions souvent très difficiles, des écosystèmes forestiers qui pu exister sans cette protection. Une participation du feu, dans l'évolution du stock de nutriments, semble importante sinon vitale. Le genre Pinus a développé toute une série d'astuces pour survivre au feu qui, dans ce cas, apporte la vie.

En fait, tous les équilibres biologiques sont fragiles, puisque tous les être vivants finissent par mourir; ce sont des équilibres «métastables», c'est-à-dire qu'ils résistent à de faibles perturbations, mais qu'une perturbation forte détruit. En physique, l'exemple le plus simple d'équilibre métastable est celui d'une bille dans un creux d'une surface bosselée. Cette image rejoint celle du «pli» de la théorie des catastrophes et celle de la gravité en relativité générale.

c) Je ne puis qu'être en parfait accord avec vous au chapitre des équilibres «métastables», mais il faut étendre ces règles à tous les niveaux trophiques, si on veut commencer à comprendre les différents types de «métastabilités». Aors que le sol qui nous intéresse ici est le seul élément stable d'une forêt «stable» bien que variable en fonction de l'évolution de la végétation qui le maintient. Cette stabilité sera nulle car elle ne permet pas l'établissement d'un sol digne de ce nom et diversifié chez les Bryophytes. Par contre, ceci devient possible chez les Cryptogames vasculaires, mais dans des conditions fort variables. Chez les forêts de Gymnospermes, l'écosystème hypogé devient plus complexe mais semble incapable de cycliser les résidus végétaux et les nutriments chimiques à l'«infini» comme ce sera le cas chez les forêts d'Angiospermes Dicotylédones qui peuvent se maintenir en permettant à chaque individu de vivre à son rythme. La communication entre les différentes populations d'individus, tant de l'écosystème hypogé qu'épigé, permet le remplacement tout en réduisant les aspects catastrophiques de l'évolution au minimum. A tous les stades, la relation entre les «creux» et les «bosses» est assurée par des durées de vie variables des différents niveaux

trophiques, permettant le passage d'un niveau à l'autre en utilisant l'énergie disponible pour retourner les nutriments «chimiques» aux dominants, tout en contournant toutes les embûches laissées par l'histoire de l'évolution avec un succès variable mais dont le résultat final est toujours positif.

Dans la surface bosselée, il existe plusieurs «creux», et les plus profonds sont ceux qui assurent la plus forte métastabilité. Une bille peut aller d'un «creux» à un «creux» voisin, en franchissant la bosse qui les sépare, grâce à une impulsion énergétique qui lui permet de passer d'un système métastable à un autre.

d) La mécanique est assurée ici par le passage de la «vie» à la «mort» de tous les niveaux trophiques, tant de l'écosystème hypogé que de l'épigé. Toutefois, l'épigé peut complètement disparaître, seul l'hypogé restera assurant un retour éventuel, si les conditions minimales le permettent.

Ainsi, les Algues sont dans un «creux», correspondant aux océans, les Lichens sont dans le «creux» des milieux terrestres les plus arides, etc.

e) Ces organismes primitifs qui existent toujours ont été incapables de structurer un milieu propre à assurer l'utilisation secondaire de leur propre productivité. Ils jouent un rôle important cependant dans le cyclage des nutriments dans ce système de «vie-mort»

1.3 Complexité de la structure et stabilité du fonctionnement:

Pour revenir à l'évolution des végétaux, il faut ajouter une remarque: les structures évoluées et complexes se maintiennent si elles permettent à la plante de mieux résister aux perturbations du milieu. Ainsi, les Algues survivent plus difficilement dans les milieux terrestres soumis aux sécheresses périodiques que les Lichens.

De même les Mousses, dotées de pseudo-feuilles, d'une pseudo-tige et de pseudo-racines, sont plus complexes que les Thallophytes, mais les Cryptogames vasculaires, à leur tour, sont plus complexes que les Mousses, puisqu'ils possèdent des vaisseaux, etc.

a) *En parallèle avec la structure des plantes, le deuxième élément dont il faut tenir compte en milieu forestier est sans doute le sol qui assurera la stabilité du système, en permettant la «combustion» des éléments chimiques issus de la synthèse d'une façon positive (positive feed-back [Perry, D.A., Amaranthus, M.P. Borchers, J.G. Borchers S.L. & Brainerd, R.E (1989), de Angelis, D.L., Post, W.M. & Travis, C.C. (1986)]). Cette utilisation secondaire des produits de la photosynthèse multiplie les «creux» et les «plis», rendant de loin le système de plus en plus stable à mesure que les niveaux se multiplient. Ce serait ici le bout de la «chaîne» des polysaccharides, la lignine, qui assurerait une structure pérenne au sol, lui-même le milieu où toute l'évolution biologique primitive prend à nouveau place. Ainsi, ces niveaux inférieurs, rompus aux «exactions» des temps anciens, sont-ils en mesure, par leur «expérience», de maintenir la stabilité à son maximum, en utilisant la diversité plutôt que l'exclusion à la recherche d'une plus grande stabilité en fonction du temps.*

Ainsi apparaît clairement le lien entre structure et fonctionnement que Durkheim avait si bien décrit: «Les phénomènes qui concernent la structure ont quelque chose de plus stable que les phénomènes fonctionnels; mais entre les deux ordres de fait, il n'y a que des différences de degré. La structure même se rencontre dans les devenir, et on ne peut la mettre en lumière qu'à condition de ne pas perdre de vue ce processus du devenir». Et nous disons maintenant que «la structure visible aujourd'hui est le résultat du fonctionnement passé et elle conditionne le fonctionnement futur».

b) je ne puis qu'être en parfait accord avec ces auteurs dont il serait bon que les références bibliographiques apparaissent à la fin de cet article.

c) Toutefois, il y a ici une nuance fondamentale que j'aimerais exprimer le plus brièvement possible. La structure biologique des différents niveaux trophiques du sol peut exprimer en temps réel toute la dynamique inscrite dans la structure et les fonctions de chaque individu depuis les virus jusqu'aux insectes en passant par les Collembolés, les Acariens, les Protozoaires, etc. Ces multiples niveaux sont capables de rappeler en temps réel toutes les perturbations, et de diriger ainsi le système vers un état stable et productif, contenant de plus en plus d'informations.

e) Si les perturbations ont dépassé les «bornes», c'est en terme de décennies ou de siècles qu'il faudra compter pour retourner à l'équilibre le plus stable. Ceci est remarquable dans le bassin méditerranéen où, après plusieurs millénaires, l'équilibre ne s'est pas encore restauré du point de vue forestier. C'est une indication que les conditions minimums dans lesquelles l'équilibre pouvait être retrouvé, ne sont pas réunies ou ne peuvent pas l'être par des pratiques anthropiques abusives ou autres.

Le fonctionnement de tous les systèmes réels est régi par le deuxième principe de la thermodynamique, selon lequel toutes les structures se dégradent inéluctablement dans les systèmes isolés, qui ne reçoivent pas d'énergie venant de l'extérieur. En d'autres termes leur entropie ne peut qu'augmenter. Inversement, toute structure peut se lire comme un message, et elle contient de l'information, au sens de Nyquist, de Shannon ou de Brillouin. La structuration est une diminution d'entropie et une acquisition d'information. C'est pourquoi l'information est synonyme de négentropie.

f) Ici encore, il faudrait donner les coordonnées bibliographiques des auteurs cités.

L'apport des BRF au sol permet donc de revivifier toute la structure biologique en apportant l'énergie nécessaire pour remettre en «mouvement» les mécanismes interdépendants où structure et fonction sont le moteur même de la stabilité de l'écosystème à court, moyen et long terme. Ainsi, l'«information» acquise passe-t-elle d'un niveau à l'autre avec un retour, à partir de la productivité excédentaire du niveau le plus élevé, l'épigé.

L'ensemble de la biosphère capte l'information que peuvent donner les photons de courtes longueurs d'ondes du rayonnement solaire, et construit des structures de plus en plus complexes, mais de plus en plus métastables.

g) Il ne me déplâit pas de penser qu'aux tissus hautement structurés, à partir de photons à courtes longueurs d'onde, viennent s'ajouter ceux de plus longues se dirigeant directement sur le système hypogé. Il est remarquable de constater que le sol des systèmes forestiers contient beaucoup plus d'espèces et d'individus appartenant aux Cryptogames, et pour un temps plus ou moins prolongé aux Gymnospermes. L'impossibilité d'avoir accès à tout le rayonnement ne serait pas étrangère à la stabilité génétique de ces espèces.

Au cours de l'évolution, la complexité croissante des systèmes biologiques est donc l'acquisition d'une métastabilité plus profonde, grâce à une augmentation de l'information contenue dans la structure du système. Le passage à la structure plus complexe se fait par un «saut qualitatif» franchissant un seuil peu stable, où existe pendant peu de temps les «chaînon manquant» de l'évolution.

h) La structuration à la fois physique, biochimique et biologique du sol permettrait donc la stabilité en suscitant l'apparition régulière des «chaînon manquant» les rendant ainsi

permanents créant ainsi les peuplements forestiers climatiques, les plus diversifiés et les plus productifs.

En résumé, la constitution d'un tronc d'arbre et de rameaux ligneux capables de croître en diamètre a été une innovation stable parce qu'elle a permis aux arbres de placer des feuilles très haut au-dessus des autres plantes et ainsi de capter avant elles les photons.

i) Ceci est vrai, mais à condition que les produits secondaires puissent être utilisés dans la structuration du sol, le rappel de toute l'évolution dont la structure «binaire» mort-vie permet de faire circuler l'information assurant ainsi la stabilité grâce à («expérience» accumulée dans la relation structure fonction.

2. Le rôle du bois raméal dans les cycles biologiques

Après ce retour en arrière à l'échelle des temps géologiques, regardons maintenant ce qui se passe dans un écosystème à l'échelle de quelques siècles. La course à la lumière qui pousse la végétation vers le haut a plusieurs conséquences que nous allons examiner successivement.

a) Vous traitez ici du rôle physique des rameaux, ce qui n'a jamais été mon propos. Tous mes travaux ne se sont concentrés que sur le sol et particulièrement sur les différents produits capables de le structurer physiquement et biologiquement. Il va de soi que les aspects que vous traitez ici sont conventionnels et n'entrent pas dans mes préoccupations. Ils sont très souvent le résultat d'équilibres macrobiologiques, alors que je me suis toujours intéressé aux résultats micromésobiologiques dont le sol est porteur.

2.1 les modifications du micro-climat

Une forêt crée un micro-climat dont les caractères ont été largement étudiés, et il suffit de rappeler deux résultats:

-quand le rayonnement solaire descend de la cime des arbres jusqu'au sol la capture progressive des photons par les strates de

végétation se traduit par une courbe d'extinction du rayonnement qui est souvent exponentielle (en conséquence, l'énergie radiative disponible pour décomposer la litière est beaucoup plus faible en forêt qu'en terrain découvert),

- en forêt, règle générale, la température de l'air est plus basse pendant la journée et plus élevée pendant la nuit, et l'humidité relative de l'air est plus élevée.

2,2 Le cycle de l'eau

Lorsqu'il pleut, les feuilles des arbres retiennent de 10% à 40% des gouttes de pluie. Cette eau ne descend pas jusqu'au sol puisqu'elle s'évapore dès la fin de la pluie. Dans les régions tempérées, cette perte est peu dommageable, parce qu'elle se produit surtout en hiver, en «écrêtant» les fortes pluies qui auraient entraîné du ruissellement ou du drainage.

L'effet majeur du couvert de la forêt est de modifier le cycle de l'eau en freinant l'évaporation de l'eau des horizons superficiels du sol. R. Lee (1980) a montré que les bassins versants des régions tempérées où subsiste la forêt perdent nettement moins d'eau (20% à 40%) que les bassins où la forêt est disparue.

L'utilisation de l'eau du sol est optimisée dans la forêt parce que les racines des arbres descendent beaucoup plus bas que celles des plantes annuelles comme le montre le tableau ci-dessous:

	sable fin	sable limoneux	Limon	argile
Réserves dans 1 m3 de sol	75	108	167	117
Profondeur des racines				
-culture de plantes annuelles	38	50	62	25
-cultures d'herbacées pérennes	100	100	125	67
-arbres	250	200	200	100
Réserves utilisables				
-cultures de plantes annuelles	28	54	104	29
-cultures d'herbacées pérennes	75	108	209	78
-arbres	187	216	334	117

a) Concernant l'eau à l'échelle microbiologique, je ne puis que souscrire à vos propos. Toutefois, mes observations en climat tropical me laissent songeur à plus d'un titre. Comment expliquer qu'en appliquant les BRF au sol nous obtenions à la fois une augmentation de rendement et une diminution de consommation. Bien que je n'ai pas les moyens physiques de le prouver, je suis porté, de plus en plus à croire que l'eau emprisonné dans la biomasse microbienne, soustraite à la solution du sol et protégée d'une évaporation excessive par les membranes hémi-perméables, est d'une importance primordiale dans le fonctionnement des écosystèmes tropicaux tout comme des nôtres.

Le contexte de cet article ne se prête pas à une telle discussion en profondeur mais la chose mériterait d'être regardée de près

2.3 Les équilibres (et déséquilibres) ioniques:

P.H. Nye et D.J. Greenland (1960) puis P. Vitousek (1983) ont eu le très grand mérite de raisonner sur l'ensemble des équilibres ioniques du sol. Le point de départ de leur raisonnement est le rôle des anions: les roches siliceuses en fournissent paradoxalement assez peu, parce que SiO_4H_4 n'est pratiquement pas dissocié dans les conditions habituelles de température, de pression et d'acidité qui règnent dans les sols. De même, les hydroxydes de fer et d'aluminium abondants dans les sols siliceux très altérés sont très peu solubles. Les roches calcaires peuvent donner des anions HCO_3^- mais seulement s'il arrive suffisamment d'ions H^+ pour dissocier les carbonates.

Finalement, la plupart des anions mobiles, capables de déplacer les cations absorbés par les argiles et les colloïdes organiques, sont fournis par les précipitations; ce sont seulement pour les sols salés ou gypseux que la roche-mère fournit une quantité importante d'anions mobiles.

Dans les trois forêts naturelles étudiées par P.M. Vitousek et ses collègues dans l'Indiana (USA), l'anion SO_4^{--} est nettement

majoritaire (400 à 700 micro-équival./litre) l'anion NO_3^- est presque absent, sans doute parce qu'il est fortement absorbé par les racines des arbres. Après coupe, c'est l'anion NO_3^- qui domine (1700 micro-équival./litre dans la forêt de feuillus la plus riche, 400 dans la pineraie) et qui risque d'être entraîné par les pluies.

b) Encore une fois, votre interprétation est avant tout sinon exclusivement chimique et physico-chimique, qui dans mon esprit, devrait être uniquement la suite de l'activité des divers niveaux trophiques dans le cadre physique et historique. Ainsi, N_2 est-il d'origine chimique (retombées atmosphériques), de la dégradation des protéines, de la fixation symbiotique ou non symbiotique. Les données et raisonnement, apportés ci-haut ne répondent en rien à cette question primordiale dans le fonctionnement et l'équilibre de l'écosystème hypogé. Il en ira de même pour le cycle du phosphore, du soufre, du carbone etc. qui seront traités d'une façon quasi incompréhensible du point de vue biologique dans la perspective de la recherche et l'obtention d'équilibres métastables à «répétition»

2.4 Synthèse:

En résumé, la forêt crée un milieu stabilisé auto-protecteur, qui optimise le cycle de l'eau, augmente les flux de matières annuelles et conserve les éléments nutritifs, en particulier l'azote qui risque d'être dilapidé par les défrichements. Elle est un «creux» de métastabilité plus profond que celui des prairies ou des cultures. La restitution des bois raméaux permet de revenir dans ce «creux» et d'améliorer le fonctionnement de la végétation.

a) Voilà une très belle théorie mais que ne permet en rien le recours à la méthode expérimentale, où les fondements mêmes de la machine forestière dont la base est le sol ne peut être interrogé et confronté avec une série d'expériences scientifiques. Les résultats des 20 dernières années nous laissent à penser que les BRF permettent de court-circuiter les stades de dégradation en stimulant tous les niveaux trophiques, en utilisant les systèmes enzymatiques des

Basidiomycètes. Il est possible ainsi de repérer dans cette chaîne diverses fonctions fondamentales, comme la régie du pH, celle de l'eau, celle de l'apport azoté, la régie du phosphore etc...Il en va également pour la régie des gaz (O₂, CO₂, H₂, CH₄, etc...

Bibliographie

- De Angelis, D.L., Post, W.M. & Travis, C.C. (1986)** «Positive feedback in Natural Systems» Springer Verlag, Berlin.
- Lee, R. (1980)** «Forest hydrology» Columbia Univ. Press, New-York, 349 p.
- Nye, P. H. & Greenland, D.J. (1960)** «The soil under shifting cultivation» Commonwealth Bur. Soils Tech. Bull 51, 156 p.
- Perry, D.A., Amaranthus, M.P., Borchers, J.G., Borchers, S.L. & Brainerd, R.E. (1989)** «Bootstrapping in Ecosystems» BioSciences 39 (4): 230-237.
- Vitousek, F.M. (1983)** «Mechanisms of ion leaching in natural managed ecosystems» in Mooney, H.A. et Godron, M. (eds) «Disturbance and ecosystems», Springer Verlag 129-144.

CONCLUSION

Les propos que vous tenez dans ces lignes sont des plus intéressants par leur clarté et la simplicité du discours. Toutefois, comme la grande majorité des auteurs, lorsque vous vous approchez de la réalité, vous bifurquez tout de go dans la théorie laissant la biologie pour la physique puis avec Vitousek dans la physico-chimie puis directement dans la chimie, tout comme si le sol était une paillasse de labo.

L'analogie la plus explicite concernant cet aspect de votre texte serait, par rapport à une voiture de la décrire dans son évolution, sa structure, mais lorsqu'on approche de la dynamique, on retourne aux règles de la physique et de la chimie. Ainsi, au monde biologique dont vous expliquez fort bien l'évolution, vous n'apportez bien peu qui y font référence, que des conclusions physiques qui n'aboutissent pas à la découverte et la compréhension des lois qui régissent la vie dans ses mécanismes intimes et pérennes.

Je conçois que la difficulté est de taille et que le labo est d'une utilité toute relative, mais les commentaires que vous faites sur l'évolution doivent s'appliquer à tous les niveaux trophiques. C'est ici que les BRF apportent un outil de travail sans pareil en permettant la restructuration «naturelle» de ces mécanismes intimes qui permettent le «discours» entre les différents niveaux biologiques en temps réel et de refaire ce que nous détruisons ou altérons sans comprendre l'ABC des mécanismes qui se sont mis en place au cours des millions d'années qui précèdent.

Je terminerai en reprenant votre jugement sur l'importance des rameaux dans l'évolution. Ainsi, les rameaux représentent une impasse dans, le cycle de la vie où les nutriments accumulés et ceux synthétisés (biochimiques cette fois) ne sont pas cyclés du vivant de la plante. En prélevant des rameaux et en les soumettant à l'attaque des microorganismes par la fragmentation, nous participons ainsi «artificiellement» au déblocage de cette impasse en suscitant un retour à la mise en action des mécanismes de régénération. C'est la mise en action de la loi d'action de masse du physicien hollandais Vant'Hoff qui, à mon sens, a toujours été une loi fondamentale à laquelle peu se réfèrent.

Entretiens de Nancy

avec le
Professeur François Toutain⁴
14 juin 1996

Nos relations avec le Professeur Toutain remontent à plusieurs années en arrière alors qu'il faisait partie d'un jury de thèse ici à Laval. En 1992, nous présentions un travail commun, lors d'un colloque au Muséum National d'Histoire Naturelle, sur l'évolution d'un sol podzolique vers un sol brun forestier après cinq ans de traitement aux BRF. Entre 1993 et 1996, nous avons procédé à des analyses portant sur les systèmes enzymatiques présents dans les BRF, ce dont nous discutons dans les lignes qui suivent grâce au travail de ^{Mme} Thomas-Bauzon.

Cette rencontre qui s'est effectuée chez lui, rue Isbey A Nancy a été particulièrement difficile à réaliser à cause d'une opération au pancréas qu'il venait de subir, J'ai dû attendre quelques jours sans pouvoir le contacter par téléphone. Alors que nous devions nous voir le 8 juin, ce n'est que le 14 que le tout se réalisa. Nous lui en sommes très reconnaissant, d'autant plus que la cuisine de ^{Mnie} Toutain est à la hauteur de la situation.

C'est donc dans l'optique de nous rapprocher de ce qui était commencé que se sont réalisés ces entretiens, mais les contingences financières semblent un obstacle majeur pour l'instant.

1 • François **Toutain** - Les analyses des BRF du Québec expédiés en 1995 faits par ^{M^{me}} Thomas montrent que pour *Populus balsamifera* des concentrations importantes sont mesurées:

phosphore (P205) 1400 ppm
manganèse, 250 ppm
fer, 6 ppm
magnésium, 280 ppm
calcium 540 ppm.

Il faudra standardiser les préparations de même que la taille des BRF. Il semble que le broyage, suivi de la lyophilisation, serait la

⁴ B est professeur de pédologie à l'École Nationale Forestière de Nancy, attaché au Centre de Pédologie Biologique du Centre National de la Recherche Scientifique à Nancy

méthode standard à utiliser dans tous les cas. La taille des copeaux devrait être de 3 cm de longueur.

2 • Gilles Lemieux - La longueur des copeaux ne présage de rien puisqu'ils peuvent avoir des volumes ou des masses très différents pour une longueur analogue. Au point de vue biologique, l'importance des surfaces attaquables serait encore plus importante. Les expéditions qui ont été faites à ce jour ont toujours été fragmentées à la main.

3 • François **Toutain** - Pour faire une étude comparative des BRF, les spécimens doivent être prélevés à la même saison ou des spécimens identiques prélevés en différentes saisons pour traiter les échantillons de BRF strictement de la même façon. Si la taille des copeaux pouvait être réduite à 2 cm, ce serait beaucoup mieux.

La lyophilisation à -80°C devrait être standard comme le Dr Furlan l'a fait. La température de début du lyophilisateur doit être réglée à -50°C . Si possible on devrait ajouter les indications de poids des échantillons avant et après la lyophilisation.

4 • Gilles **Lemieux** - La longueur de temps durant laquelle la lyophilisation doit se faire peut être variable selon la saison de récolte qui influe sur le contenu en eau des échantillons.

Lors de mon entretien avec Michel Godron le 6 juin dernier, ce dernier m'a posé la question sur la filiation qu'il y a entre les BRF et les mycorhizes. Je lui est répondu qu'elle était directe et que les mycorhizes étaient, le plus souvent, des Basidiomycètes tout comme pour la dépolymérisation de la lignine.

D'après le Prof. Ola'h, les Basidiomycètes peuvent agir comme des transporteurs de nutriments et des fabricants d'enzymes; il ne possèdent pas de septa à l'intérieur de leur mycélium, permettant ainsi le transport des nutriments d'un point à un autre.

5 • François Toutain -

Je crois que les travaux de M^{me} Thomas-Bauzon sont en bonne voie, mais il faudrait les réactiver pour une publication commune en montrant qu'il y a des enzymes de type phosphatase et lipase de même que certaines autres que nous connaissons mieux qu'on retrouve dans les BRF. Il devraient être exprimés en milligrammes de protéine par rapport au poids de BRF lyophilisés de manière standard.

J'attaque donc le sujet pécuniaire brutalement en vous posant la question de savoir s'il y a moyen d'obtenir une subvention quelconque?

6 • Gilles Lemieux - Je pense que la chose soit possible et que le terrain se montre de plus en plus propice à ce sujet. Mais avant de demander des fonds, il faut bien savoir où l'on va et pourquoi.

• **7 François Toutain •** Il serait intéressant de pouvoir faire comprendre que cette opération de recherche a de l'avenir et que je ne dois pas la porter à bout de bras.

8 • Gilles Lemieux - J'essairai donc chez-nous et, si possible également, par cette société minière canadienne en République Dominicaine qui aurait un intérêt marqué à utiliser ces techniques dans son approche avec les paysans.

9 • François Toutain - Voila un argument que j'utiliserai auprès de Jacques Berthelin en soulignant qu'il y a des risques d'avoir un apport financier dans un tel projet.

Je dois signaler que le CNRS n'a plus un sou même pas pour payer le chauffage et le téléphone. Que dire des équipes de recherche... A votre avis, peut on penser avoir des réponses dans un délai de 6 mois ou d'un an?

10 • Gilles Lemieux - Ce pourrait même être plus rapide puisque les choses changent rapidement actuellement. Mais comme dans toutes

périodes de changements profonds, on est sûr de rien avant que l'affaire ne soit dans la poche.

11 • François Toutain - Pour l'instant nous nous contenterons de bien connaître le chêne rouge.

12 • Gilles Lemieux - C'est ce que je viens de proposer à nos amis belges d'utiliser le chêne rouge dans les expériences pilotes au même titre que nous tentons d'utiliser le filao sous les tropiques. Ce seront des essences de références. Il y a un avantage à utiliser une essence qui n'est pas indigène, en permettant des comparaisons sous différentes conditions avec un même patrimoine génétique. Il semblerait que le contenu en tanin de cette espèce serait moyen et stable alors que certaines espèces européennes ont une grande amplitude de variation à ce chapitre.

13 • François Toutain - Il serait intéressant de voir, à différentes époques, ce qui se passe et, dans un temps second de passer à différentes essences. Un des gros intérêts des BRF est de libérer par biodégradation ou par voies biologiques des éléments où et quand il le faut. Le potentiel devrait donc varier également. Croyez-vous que je pourrais intervenir avec les gens de Belgique?

14 • Gilles Lemieux - Je pense que la chose est possible, d'autant plus qu'ils manifestent un désir de collaborer avec vous. Les deux personnes du comité Jean Pain seront MM Jean Cornelis et Vincent Gobbe.

Le modèle expérimental que je propose est le même que celui proposé à Kiev, soit quatre parcelles de 15 m², dont deux ne contenant que des BRF, la troisième recevra 10 g de sol forestier au m² et la quatrième sera le témoin.

Je soupçonne fortement que lorsque le système évolue mal ou pas du tout, c'est l'absence de Basidiomycètes qui en est la cause. Les sols agricoles sont dépourvus de Basidiomycètes. Un sol en jachère

depuis longtemps semble avoir récupéré certains Basidiomycètes, alors que les sols agricoles de haute productivité n'en possède aucun.

15 ^MFrançois Toutain - Quelle plante sera utilisée sur les parcelles en Belgique?

16 • Gilles Lemieux - C'est en discussion, mais j'opterais personnellement pour une plante annuelle comme le blé. Il y a tout un protocole que je propose sur l'évaluation des essais.

En Ukraine, 15 essences ont été acceptées dont une de conifère.

M. Dellisse, de Nature et Progrès (Namur), a manifesté l'intention de faire des essais sous couvert forestier.

17 • **François Toutain** - Je vous rappelle les observations que nous avons faites sur la présence de «pourritures blanches» dans un tas de BRF à la forêt Montmorency et qui attirait les racines des arbres environnants. Je vous avais également dit qu'en Guyane, j'avais observé sous certains arbres des «pourritures blanches» qui se développaient, provoquant la création d'une masse racinaire incroyable sur plusieurs centimètres d'épaisseur. Ceci serait dû à la libération de gouttelettes dorées contenant plus de 50 ppm de calcium.

La question que je me posai alors était de savoir pourquoi ceci ne se présentait qu'en milieu tropical où les racines sont plus mobiles. Il me semble maintenant probable que ces pourritures blanches puissent, à la fois, libérer des éléments importants en même temps que des enzymes à des moments précis pour les plantes poussant dans la zone d'influence. Regardant les lames d'humus prélevées à la fois au Québec (Saint-Damien) et en Guyane, ceci me semble possible et très intéressant.

En ce qui regarde le calcium, la quantité présente n'est pas énorme dans les BRF, mais si elle est libérée dans un moment critique après la biomasse microbienne, le tout profitera bien plus au milieu.

Ceci serait une explication fort intéressante à la régulation biologique des nutriments et pourquoi de petites quantités présentes dans les BRF donneraient des résultats spectaculaires.

18 • Gilles Lemieux - Ceci corroborerait nos observations par lesquelles nous avons des augmentations de rendement sans ajouter aucun fertilisant. Il en irait également en ce qui regarde l'eau disponible qui, «emprisonnée» dans la biomasse microbienne serait beaucoup plus disponible à la croissance des plantes, étant soustraite à la pression osmotique négative de la solution du sol ou à l'évaporation excessive à cause des hautes températures. A mon avis, il y a longtemps que les sols forestiers ont inventé des mécanismes analogues et particulièrement sous les tropiques.

De retour au financement de la recherche pour les travaux de Mme Thomas-Bauzon, il faudrait évaluer les sommes nécessaires pour une année. Un montant correct mettrait à l'abri ce travail de recherche important.

Conclusions

L'une des premières conclusions à laquelle on peut arriver, c'est que les systèmes enzymatiques sont la base, qu'ils soient générés par les micro-organismes dont les Basidiomycètes, mais également à partir des BRF. La seconde est qu'il nous faudra trouver des sources de financement, le Centre de Pédologie Biologique étant totalement dépourvu à ce chapitre

Entretiens de Thierval- Grignon (INRA)

avec le

Professeur Augustin Scalbert

17 juin 1996.

Cette rencontre, remise une première fois en 1995 et à deux reprises lors de cette mission, s'est concrétisée *in extremis* et il m'a fallu prolonger mon séjour de 3 jours pour que nous puissions finalement nous rencontrer dans ses laboratoires. Le but principal, en plus de faire connaissance, était de voir la possibilité pour M. Larochelle de s'inscrire en stage au laboratoire du Professeur Scalbert; le second était d'évaluer la conception que se fait le Prof Scalbert des polyphénols dont il est l'un des plus éminents spécialistes. Comme on peut le lire, dès le début, il campe le scénario de son évolution vers le métabolisme humain.

1 • **Augustin Scalbert** - D'ici un an, je dois quitter Grignon pour Avignon (INRA) où mes activités de recherche sur les polyphénols seront orientées vers les effets sur le métabolisme humain d'une façon systématique.

En ce qui regarde les ligno-celluloses, ce groupe sera dirigé par Bernard Monty qui établira un laboratoire à Reims.

Nous avons des contacts avec les gens de Nancy mais qui sont moins importants aujourd'hui qu'ils ne l'étaient dans la mesure où l'on s'intéresse moins au bois. Tous les chercheurs forestiers à l'INRA ont un intérêt pour la chimie qui est relativement limitée.

L'intérêt de la chimie dans le domaine du bois tourne surtout autour de l'industrie papetière. Nous avons été plusieurs fois contacté pour des questions de couleur des bois, de jaunissement du papier liées à la lignine et aux extractibles.

Pour ma part, je vais m'occuper des fruits et légumes à Avignon, bien que j'aie travaillé une vingtaine d'années sur les bois et les écorces. Depuis une année, nous avons amorcé des recherches sur différents phénols présents dans nos aliments pour nous protéger des maladies cardio-vasculaires, du cancer, etc...

2 • Gilles Lemieux - Un peu comme ce qui se passe dans le sol où les composés phénoliques gouvernent les processus pédogénétiques.

3 • **Augustin Scalbert** - Très certainement, mais les mécanismes ne sont pas les mêmes. Je vais donc partir à Avignon pour me consacrer uniquement à des études sur les effets nutritionnels et des polyphénols dans l'alimentation.

4 • Gilles **Lemieux** - Je comprends très bien ce qui vous motive maintenant. Je me permets également de vous signaler que notre entêtement à regarder de près toute la question du bois raméal tient au fait de l'abondance de cette ressource de par le monde. Au Québec seulement, nous en produisons 100 000 000 de tonnes annuellement et plusieurs milliards de par le monde. C'est un matériau qui n'est jamais utilisé, sauf en pâture aux bêtes quelquefois.

5 • **Augustin Scalbert** - Si on se place dans le contexte africain, comment seraient récoltés ces bois et devraient-ils être compostés?

6 • Gilles Lemieux - Ils ne doivent, en aucun cas, être compostés mais plutôt épandus et mélangés avec les premiers centimètres du sol. En pays tropicaux, on a demandé qu'ils soient enfouis sous quelques centimètres pour éviter l'effet stérilisant du rayonnement ultraviolet. En quelques semaines, tout disparaît: il est de 3 semaines en République Dominicaine à raison de 200 m³/ha.

7 • **Augustin Scalbert** - Où ces BRF sont-ils récoltés?

8 • Gilles **Lemieux** - C'est très variable. Nous sommes en expansion en nous introduisant dans un réseau africain, par le biais du Canada, où nous utiliserons une seule espèce en particulier, le filao (*Casuarina equisetifolia*). Nous entrons dans un système de recherche largement financé qui n'a pas donné les résultats attendus parce qu'on utilisait que les feuilles.

Nous allons également tester un certain nombre d'essences mais en particulier au Sénégal, où nous utiliserons les rameaux de filao qui deviennent disponibles en grande quantité tout prochainement et pour lesquels il n'y a aucune utilisation.

Toutes les difficultés que nous connaissons actuellement dans la lutte à la désertification, à la disparition des forêts ou à la dégradation des terres agricoles tiennent toute de la même question; l'absence d'énergie disponible dans l'écosystème hypogé.

Par ailleurs, nous avons remarqué une grande différence lors de l'utilisation des BRF en agriculture, entre les BRF de résineux par rapport à ceux de feuillus. Les BRF de résineux fonctionnent plutôt mal alors que ceux de feuillus fonctionnent très bien dans l'initiation de la fertilité et de la qualité du sol.

9 • Augustin Scalbert - D'où proviendront ces BRF en Afrique pour les épandre sur les champs?

10 • Gilles Lemieux - Dans un premier temps, il faut les connaître sous tous les aspects. Je vous répondrai, comme je l'ai fait à un correspondant brésilien qui aborde la question sous cet angle, en lui soulignant que bien que la mer soit inhospitalière, dangereuse, et inhabitée, nous dépensons des sommes astronomiques pour la parcourir et en tirer tout ce que nous pouvons. Il faut reconnaître que près de la moitié des hommes en vivent. Il faut donc des techniques pour utiliser et produire ce matériau.

L'un des principaux problèmes réside dans le fait que, lorsque les arbres poussent dans des milieux pauvres, ils contiennent énormément de polyphénols et les mécanismes pédogénétiques n'arrivent pas à se mettre en route. Toutefois, si on arrive à obtenir les rameaux d'arbres dominants de peuplements climaciques, le tout fonctionne à merveille. Il semble bien qu'il y ait là un seuil qu'il nous faut bien comprendre et que les polyphénols soient, à la fois,

l'empêcheur de tourner en rond et la réponse définitive que nous cherchons.

C'est un processus fondamental qui nous semble du même ordre tant sous nos conditions de climat, que sous les tropiques. Nous sommes donc en présence à la fois d'un matériau abondant et diversifié et un phénomène universel qui est celui de la pédogénèse sur lequel nous influons profondément.

11 • Augustin Scalbert - Ces BRF proviendraient donc de l'industrie forestière. je me suis intéressé aux écorces mais l'organisation des filières est telle que ceux qui produisent le papier ne sont pas intéressés à s'en débarrasser parce qu'elle sont brûlées pour alimenter les usines en énergie. La situation est différente dans d'autres pays comme la Nouvelle-Zélande où l'industrie cherchait à utiliser les écorces pour d'autres usages ou pour une exportation extérieure comme des amendements pour le sol, etc.

12 • Gilles Lemieux - Vous conviendrez sans doute que les écorces ne sont pas du bois, ni de tronc ni de rameaux.

13 • Augustin Scalbert - Vous considérez le tout, c'est-à-dire les feuilles, les branches, etc.

14 • Gilles Lemieux Oui, mais les mécanismes fonctionnent mieux lorsqu'il n'y a pas de feuilles, ces derniers étant hautement fermentescibles. Nous savons également que le «premier occupant des lieux» orientera la suite des événements. Si ce sont des bactéries ou des Myxomycètes ou des levures qui s'installent en premier, il y aura bel et bien dégradation du bois, de la cellulose des protéines etc... Par contre, si ce sont des Basidiomycètes, nous nous dirigeons vers un processus tout autre où la dépolymérisation de la lignine par les lignoperoxydases, donnant des fractions humiques et fulviques.

On note ainsi que le comportement des résineux dans la pédogénèse est fort différent de celui des feuillus, les premiers donnant des polyphénols, des acides aliphatiques, etc. en grande

quantité, à cause de la présence de la lignine gaacyle qui ne possède qu'un seul groupement méthoxyle par opposition à la lignine syringyle qui en a deux. Ainsi, les résineux arrivent à contrôler la compétition alors que les feuillus l'accepte et en tire bénéfice.

Malgré la présence de nombreux nutriments chez le sapin qui contient plus de 12% de protéines, la fertilité du sol est très limitée.

15: **Augustin Scalbert** - On trouve très peu de protéines dans le bois, mis à part ces petits rameaux.

16 • Gilles Lemieux - J'ajouterai en plus que cette lignine chez les petits rameaux est une lignine native sous forme d'oligomères. Ces rameaux sont broutés par les animaux et les insectes qui, par ailleurs, n'arrivent pas à utiliser les bois ou les écorces pour vivre.

17 • Augustin Scalbert - La lignine est relativement vite déposée dans le bois et je dirais, qu'à priori, la lignine ne soit pas différente dans le bois de tronc que dans les petits rameaux. La différence de comportement peut venir du fait qu'il y aurait beaucoup plus de protéine, ce qui expliquerait la différence de comportement dans la dégradation. Ceux qui ont parlé de lignine native ne parlaient pas d'oligomères. La lignine fait son réseau tridimensionnel infini et est non extractible.

Ce qui pourrait expliquer la différence entre les bois raméaux et les autres bois pourrait être lié à la présence de protéines, à la proportion différente de bois et d'écorce dans les rameaux et dans les troncs.

18 • Gilles Lemieux - J'ai eu le privilège de rencontrer tout récemment le Dr J.Swift qui semble penché du côté, à l'instar d'autres auteurs, que la lignine très polymérisée peut imprimer des effets différents sur le sol par rapport à celle qui l'est moins. Toutefois, la discussion avec des chimistes ne donne que des indications mais aucune certitude, Il semble bien cependant qu'il y ait

là une source de recherche importante, ne serait-ce que pour éliminer cette hypothèse et en imposer une autre mieux étayée.

Il faut reconnaître que nous avons et fabriquons avec les BRF deux types d'humus stables, mais qui ne peuvent être le fruit de la transformation de la cellulose et des protéines.

Un autre indice de l'effet de la lignine dans nos parcelles est que la fertilité ne s'installe pas la première année, ce n'est que la seconde. Un regard sur la régénération dans les parcelles expérimentales montre que la régénération naturelle n'apparaît que la troisième année et s'arrête après la cinquième, à tout fin pratique.

19 • Augustin Scalbert - Il y a eu une publication qui date de fort longtemps montrant des différences entre lignine guaiacyle et lignine syringyle. Est-ce un facteur déterminant, je n'en sais rien? Quand on compare différents bois entr'eux, je ne sais pas la différence au niveau de leur biodégradation en fonction de la présence d'extractibles. Toutefois, lorsqu'on prend des aubiers, la comparaison entre les différents bois n'est pas importante.

20 • Gilles Lemieux - Encore une fois, toute la littérature ne mentionne que des travaux sur les bois de coeur, de bois d'aubier ou d'écorces. Beaucoup de choses importantes sont apparues dans la littérature à ce sujet durant la dernière décennie. Il n'y a à peu près rien sur le bois raméal dont le comportement est très différent de ce qui se passe au niveau des troncs, je dirais même complètement opposé. Un exemple serait que la proportion de lignine des fins rameaux est supérieure à celle du bois de tronc.

Toutefois, il faut comprendre que je ne m'intéresse pas particulièrement à la lignine comme telle, mais il semble que nous avons là un élément important indiquant des distinctions remarquables et pour lesquelles nous n'avons pas de réponse.

21 • Augustin Scalbert - Qu'attendez-vous alors de l'analyse chimique par rapport à ces problèmes?

22 • Gilles Lemieux - La chose la plus importante serait que vous acceptiez un étudiant stagiaire chez-vous pour quelques mois pour le familiariser avec les problèmes inhérents à cette chimie. Pour le reste, tout pousse du côté d'une meilleure connaissance des polyphénols dans leur dynamisme et leurs *influences*.

23 • **Augustin Scalbert** - Vous voyez un étudiant qui viendrait faire quoi précisément?

24 • Gilles Lemieux - Il viendrait se familiariser avec toutes les techniques dans les domaines qui vous sont propres. Bien que rien ne soit arrêté, voilà un intérêt de notre part et une possibilité. Tant qu'une rencontre comme celle-là n'a pas eu lieu, rien n'est possible.

L'étudiant que j'ai en tête pour un stage éventuel, vient d'obtenir sa maîtrise et se destine au doctorat et porte le nom de Louis Larochelle. J'ai également un autre étudiant qui vient de finir sa foresterie chez-nous, M. Jean-Claude Tissaux qui s'intéresse à la question, qui est français et habite Saint-Raphaël dans le sud de la France.

Il y a de véritables difficultés à obtenir une reconnaissance qui permet un accès facile et direct aux bourses et subventions parce que nous nous situons à l'interface des mondes agricole et forestier. Nos travaux depuis près de vingt ans à réconcilier les deux, via le sol et les mécanismes pédogénétiques où il nous semble de plus en plus évident que les mécanismes de fertilité sont inscrits dans l'évolution des lignines.

Nous pensons que ces mécanismes se sont développés en milieux forestiers et que les sols agricoles actuels mériteraient qu'on y retourne les bases mêmes de la fertilité en y réintroduisant les mécanismes propres aux forêts, mais sans les arbres cette fois.

25 • Augustin **Scalbert** - Quelle est la formation des étudiants dont vous me parlez?

26 • Gilles Lemieux - Ils ont une formation universitaire; l'un est ingénieur agronome et l'autre ingénieur forestier.

27 • Augustin Scalbert - Quelle est la formation en chimie de ceux qui ont suivi de cursus là?

280 Gilles Lemieux - La formation en chimie minérale et organique est excellente.

29 • Augustin Scalbert - La presque totalité des étudiants que nous prenons ici vient du secteur chimie.

20 • Gilles Lemieux - Je comprends très bien votre position, mais vous pointez là la grande difficulté à laquelle nous faisons face. Il est maintenant très difficile de créer des liens efficaces et durables entre les sciences dites «naturelles» et celles dites «exactes» comme la chimie. Ma démarche vise exactement à rendre possible l'accès des nouvelles connaissances en chimie des polyphénols pour mieux comprendre ce qui se passe dans le sol et dans les plantes. Dans la mesure où nous sommes de plus en plus spécialisés, cette démarche devient presque un exploit.

31 • Augustin Scalbert - Je vois assez bien les choses comme vous dans la mesure où les gens ont des profils différents, des compétences différentes, des objets d'étude différents. C'est très positif d'aller vers des gens qui ont un passé différent pour parler de choses ensemble, donner un éclairage différent.

Au niveau du laboratoire, les choses sont quelque peu différentes, dans la mesure où les gens sont amenés à faire de la chimie, faire de l'analyse spectroscopique, etc. Disons que nous avons maintenant le pouvoir de choisir les étudiants de manière à ce

si

que nous ayons des étudiants les mieux formés possible pour faire le travail qui correspond à nos préoccupations.

Ceci devient très important pour nous aujourd'hui, parce que plus ciblée est leur formation, plus facile se déroulera le stage au laboratoire.

32 • Gilles Lemieux - Le mieux que je puisse faire à l'heure actuelle est de vous faire parvenir en détail son cursus.

Je vois qu'il y a beaucoup de choses qui vont dans ce sens mais notre monde à ce niveau en est un qui éclate. Il ne faut pas que ces jeunes se perdent, particulièrement lorsqu'ils sont brillants.

33 • Augustin Scalbert - Vous envoyez ces étudiants pour combien de temps à l'étranger?

34 • Gilles Lemieux - Pour le moment, nous n'en avons envoyé aucun et tout doit être évalué selon les possibilités réelles, non pas hypothétiques. Les difficultés sont réelles, les points à comprendre aussi et il faut éviter de se perdre dans l'infini.

Cette rencontre ne nous permettra pas d'arriver à des conclusions aujourd'hui, mais c'est une première exploration qui pourrait conduire à des réalisations concrètes dans un temps second.

Je demanderai à Larochelle de venir vous rencontrer un jour et on verra bien par la suite ce qui pourra se réaliser ou non.

35 • Augustin Scalbert - Vous dites que cet étudiant est québécois et qui veut retourner au Québec par la suite.

J'ai vu dans les documents qu vous m'envoyez que vous citiez Annie Sauvesty, qui a fait sa thèse ici au laboratoire, de qui on a perdu la trace depuis qu'elle est partie au Québec.

36 • Gilles Lemieux -

Les relations avec la France sont assez difficiles, je ne puis vous le cacher.

37 • Augustin Scalbert - Avec qui avez-vous des contacts en France?

38 • Gilles Lemieux - Il sont nombreux et éparés:

François Toutain, ENGREF et CNRS de Nancy

Gérard Kilbertus Université de Nancy

Christian Sales ONF, Paris

M. Guillard, Dijon (ancien directeur de l'ONF)

Charles Rouchouse, Réseau des Zones Arides CNRS Montpellier

Marie-Christine Triboulot, ENSTIB, Épinal

M. Ponge, Muséum d'Histoire Naturelle

Michel Godron (chercheur à la retraite) CNRS, Montpellier M. André Université de Chambéry

M. Vannière, (ONF), Paris

M. Le Floc'h CNRS, Montpellier

39 • Augustin Scalbert - Quel type d'information espérez-vous retirer des phénols qui vous intéressent? Quel type d'information espérez-vous retirer par rapport à votre problème?

40 • Gilles Lemieux - Le premier type de problème auquel nous nous adressons est celui de la régie des nutriments et, en premier le fer et l'aluminium où les polyphénols sont reconnus pour avoir une influence considérable. Les points suivants sont la constitution des agrégats du sol ainsi que la régulation de la biologie des écosystèmes comme la qualité des niveaux trophiques, le contrôle de la germination. Nous sommes convaincus que c'est largement en fonction de la présence et de la qualité des polyphénols que s'effectue la régie du sol, la fertilité et la constitution de l'écosystème épigé, etc.

41 • Augustin Scalbert - Ces réactions de contrôle de la germination en particulier, peuvent être très différentes d'une espèce de BRF à une autre.

42 • Gilles Lemieux - Nous sommes d'avis qu'il devrait y avoir des familles de polyphénols qui aient une série d'influences marquantes soit sur la germination ou sur le développement de la biomasse microbienne. Tous les problèmes connus ou inconnus de la biologie sont dans le sol et, en même temps, nous aboutissons toujours à un résultat final qui est analogue. Il doit bien dans ce cas y avoir des mécanismes de régulation, et nous pensons que les polyphénols sont largement responsables de ces équilibres.

43 • Augustin Scalbert - Ce que vous me dites ressemble fort à ce qui se passe sous les noyers causé par la juglandanine qui empêche tout développement de la végétation par des contrôles chimiques au niveau de la germination.

44 • Gilles Lemieux - Il est facile de comprendre que, si on applique des BRF d'une espèce donnée et que avons des contrôles dans les préférences de germination de telle ou telle espèce, il nous faut convenir que ce sont les BRF appliqués d'une espèce en particulier qui suscitent de telles réactions. Il nous a fallu plus d'une décennie avant de consentir à tirer de telles conclusions.

De tels mécanismes n'intéressent ni les forestiers qui ne jurent que par l'augmentation de production de bois de tronc, ni les agronomes qui n'ont d'intérêt que dans les augmentations de rendement des cultures aux coûts les plus bas possibles: c'est le monde des productivistes. Nous sommes situés juste entre la forêt et l'agriculture, d'où la nouveauté et l'intérêt de notre démarche scientifique et sa difficulté qui s'adresse à la connaissance des mécanismes qui président à ces productions en dehors des simples NPK.

45 • Augustin Scalbert - Je vous invite à visiter nos laboratoires et de faire connaissance avec ^{Mme} Catherine Lapierre qui a fait de nombreux travaux sur les lignines pour le compte de l'industrie des pâtes et papiers.

Conclusions

Les discussions ont été franches et, par rapport à nos attentes, en voici les principales:

- a) Le Professeur Scalbert est avant tout un chimiste et il ne m'a pas semblé avoir d'intérêt particulier dans le domaine qui nous intéresse
- b) Il doit quitter ses locaux pour appliquer un virage dans ses travaux de recherche vers les organismes humains.
- c) Il n'a montré aucun empressement, et à juste titre, à prendre un stagiaire qui ne serait pas orienté fondamentalement dans la chimie des polyphénols, non pas le contrôle des mécanismes qui nous intéressent.
- d) M^{me} Lapierre, avec qui nous avons longuement causé à son labo, orienté du côté des pâtes et papier était de loin la personne avec laquelle nous avons le plus d'affinités scientifiques et technologiques. Ce domaine des pâtes et papiers, est en net recul dans les travaux de recherche et les relations avec le secteur forestier de Nancy est au plus bas si j'ai bien évalué la situation
- e). Nous en tirons donc la conclusion finale que le temps n'est pas propice à nouer des relations plus dynamiques, d'autant plus que M. Larochelle semble s'être désintéressé de la chose pour le moment.
