

UNIVERSITÉ LAVAL

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

Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

France Culture
«LA SCIENCE ET LES HOMMES»
3 septembre 1997

«LA DÉGRADATION DES SOLS, OU LES SOLS NE SONT PAS ÉTERNELS»

par les Professeurs
**Pierre Brabant, Claude Cheverry, Patrick Lavelle, Jean-Louis
Morel et Éric Roose**

mars 2000

Publication n° 114
tiré-à-part
<http://forestgeomat.ffg.ulaval.ca/brf/>

édité par le
Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux

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

Préface

Nous avons cru utile de donner une place à cette émission de France Culture du 3 septembre 1997 à cause de la pertinence du thème débattu avant l'ouverture du 16^e Congrès Mondial des Sciences du Sol que s'est tenu en août 1998 à Montpellier.

Nous croyons que les thèmes développés par des scientifiques reconnus mondialement donnent une bonne idée de l'importance du sol et surtout de sa perception tant sociale, qu'économique et scientifique. Nous pouvons dire, sans crainte de se tromper, que la situation décrite correspond à celle de l'an 2000, qui sous certains aspects, n'a fait qu'empirer depuis lors.

À la veille de nous impliquer sous les tropiques dans le projet BRF-Afrique nous avons jugé opportun de faire connaître l'état de la situation dans nos pays industrialisés par opposition aux conditions tropicales tant en zones arides que forestières humides.

Le lecteur notera qu'il n'est fait en aucun cas référence aux relations forêt-agriculture sinon de façon négative et rien n'est suggéré au niveau des fonctions des polyphénols et de la transformation des lignines dans les sols. Voilà un résumé de la situation qui permet de mieux voir vers quel horizon se dirige la technologie des BRF.

Professeur Gilles Lemieux
Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux
Université Laval
mars 2000

La dégradation des sols, ou les sols ne sont pas éternels

France Culture

3 septembre 1997

“ La science et les hommes ”

F. Breton :

Nous abordons aujourd'hui le problème de la dégradation des sols. Un sujet dont vous entendrez certainement reparler, car les spécialistes français accueilleront pour la première fois, en août prochain à Montpellier, le seizième congrès mondial des sciences du sol. Sujet d'importance s'il en est, puisqu'aucun pays ne semble échapper au danger d'appauvrissement et de stérilisation de leurs terres agricoles, dont dépend pourtant leur future sécurité alimentaire. Nous nous interrogerons donc sur les types de dégradation qui menacent le sol: sont-elles de nature différente dans les pays en voie de développement et dans les pays industrialisés ? Ces dégradations sont-elles irréversibles, autrement dit le sol est-il une ressource renouvelable? Enfin, comment conserver les sols existants et comment réhabiliter les sols détruits ou pollués ? Est-ce possible, autrement dit a-t-on des raisons d'être optimiste malgré l'état jugé alarmant de ces sols ?

Invités: Pierre Brabant, Claude Cheverry, Patrick Lavelle, Jean-Louis Morel, Éric Roose

Pour nous éclairer sur ces questions, je reçois autour de cette table Pierre Brabant, pédologue et directeur de recherche à l'ORSTOM (l'institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération); Claude Cheverry, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes et chercheur associé à l'INRA, spécialiste de la salinisation des régions intertropicales et des problèmes de qualité du sol dans les régions d'élevage intensifs; Patrick Lavelle, professeur à l'Université de Paris VI et directeur du laboratoire d'écologie des sols tropicaux à l'ORSTOM, spécialiste de la faune des sols tropicaux; Jean-Louis Morel, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires de Nancy, qui étudie le devenir des polluants dans les sols et les plantes; Éric Roose, pédologue et directeur de recherche à l'ORSTOM de Montpellier, président du réseau "érosion" en France, et vice-président de la société mondiale de la conservation de l'eau et des sols.

Avant de rentrer dans les détails des dégradations qui touchent les terres agricoles dans le monde, nous allons essayer de définir ce qu'est un sol, comment il se constitue et ce qui fait sa fertilité.

C. Cheverry : *La composition physique des sols*

Quand on regarde un sol, la première chose que l'on remarque ce sont les constituants solides: des argiles, des sables, des limons, qui résultent essentiellement de l'altération des roches. On observe à la surface du globe des sols de nature très différente parce que les roches qui sont à leur origine sont très différentes: des granites, des roches volcaniques, des matériaux d'alluvions,... Suivant la nature des roches et la nature du climat qui provoque les altérations, on aura des constituants solides du sol très différents.

P. Lavelle : *La composition d'origine biologique des sols.*

La matière organique, c'est à la fois les réserves énergétiques et les substances humiques, la "colle" qui fait le lien entre ces minéraux. Quand on l'étudie, on voit qu'elle est en général très ancienne (en moyenne plusieurs centaines d'années), mais ce n'est pas pour autant un compartiment passif. A l'intérieur de cette matière organique, la moitié a mille ou deux mille ans d'âge moyen, mais il y a aussi des éléments qui se renouvellent très rapidement, issus de la décomposition rapide des résidus végétaux. Ce sont eux qui servent d'aliment à tous les organismes qui vivent dans le sol et qui travaillent ce sol.

F. Breton :

Ces organismes sont donc très importants pour constituer le sol, mélanger ses composantes et faire en sorte qu'il soit de bonne qualité, biologique et physique.

P. Lavelle : *Les composantes biologiques actives*

Oui, le sol est vivant : dans un gramme de sol, on peut trouver dix milliards de bactéries et plusieurs kilomètres de filaments de champignons microscopiques. L'élément microbien est omniprésent, et ces microbes sont essentiels parce qu'ils sont capables d'effectuer toutes les transformations chimiques possibles à partir des composants de la nature. A côté de ces micro-organismes, il y a toute la faune. Dans une forêt de hêtres en France, on a compté jusqu'à mille espèces d'invertébrés divers: cela va des protozoaires, des amibes microscopiques qui vivent dans les micro-pores remplis d'eau du sol, jusqu'au plus gros organismes

comme le ver de terre et les fourmis. Ces invertébrés ont une organisation hiérarchique, et au sommet de cette organisation se trouve ce qu'on appelle les "ingénieurs de l'écosystème" : ce sont des invertébrés comme le ver de terre ou les fourmis, qui sont capables de construire des structures solides. Ce sont donc des éléments qui vont déterminer certaines propriétés du sol comme sa porosité, la circulation de l'eau, la localisation de l'eau, ce qui va en retour influencer sur l'activité des invertébrés plus petits, puis des micro-organismes. Il y a aussi des liens entre la microflore, qui effectue toutes les transformations chimiques, et la faune, qui crée les conditions de son activité.

F. Breton :

On dit que pour faire un centimètre de sol, il faut quatre cents ans. Qu'est-ce qui fait que le sol est si long à constituer ?

C. Cheverry : *Le climat: une répartition zonale des sols dans le monde*

Un sol, c'est souvent encore plus long à constituer : il faut souvent des milliers d'années pour constituer une couche de dix centimètres d'épaisseur. C'est long parce que les constituants solides se transforment lentement sous l'action de l'eau, en particulier de l'eau de pluie. Ce sont des réactions d'hydrolyse, de solubilisation, des réactions chimiques qui jouent sur la surface des minéraux, et qui demandent beaucoup de temps. Ces réactions sont beaucoup plus rapides quand la température est élevée : on aura donc des processus de formation des sols très différents selon qu'on est dans le grand nord ou près de l'équateur. On aura souvent des sols rouges dans les régions tropicales parce que le fer aura été libéré des roches mères, alors que dans nos régions nous aurons beaucoup plus souvent des couleurs brunes, parce qu'il y aura une association entre ce fer, des matières organiques et des argiles. On peut donc dire qu'il y aura une zonalité des sols dans le monde, suivant la latitude.

F. Breton :

Dans les sols tropicaux, qui n'ont pas été abrasés par les glaciers, les parties riches sont tellement profondes que la végétation ne les atteint pas ?

P. Brabant : *Les effets de la déforestation sur la qualité des sols.*

Dans l'hémisphère nord, les sols sont beaucoup moins profonds que dans les zones tropicales, en particulier sur le continent africain, où les sols font parfois vingt mètres, voire trente. Les éléments minéraux sont dans l'humus qui se trouve en surface, et aussi en profondeur près de la roche. Mais entre les deux, il n'y a

pas grand chose. Par conséquent, lorsque l'on coupe la forêt, pendant un moment ça va parce qu'il y a encore une réserve, mais elle s'épuise rapidement.

F. Breton :

Peut-on dire alors que tous les sols ne sont pas équivalents et aussi fertiles les uns que les autres, et quelle est la proportion de sol fertile, dans le sens où elle peut être utilisée par l'homme pour la production alimentaire ?

P. Brabant : *Moins de 1% exploitables et fertiles*

Les estimations varient. Il y a environ cent vingt millions de km² (le quart de la surface du globe) de sols "exploitables" (où l'on peut faire de l'élevage ou de la foresterie), mais les sols réellement "cultivables" font environ soixante millions de km². Et les sols vraiment très bons, profonds, avec de la chaleur et de l'eau, où il n'y a pas de contraintes climatiques, comme dans le delta du Mékong ou bien les sols volcaniques de Java où l'on peut avoir plusieurs récoltes par an, ceux-là représentent 1 % de la superficie des sols cultivables.

F. Breton :

Qu'est-ce qu'un sol dégradé ?

C. Cheverry : *La notion de sol dégradé, une perception anthropique*

Il faut revenir aux fonctions d'un sol, pour voir dans quelle mesure on peut parler de dégradation. Tel qu'il vient d'être défini, un sol est quelque chose d'assez complexe, qui a des constituants solides, des constituants minéraux, mais aussi des organismes vivants, et tout cela est organisé, structuré. Dans un bon sol, il y a pratiquement 50 % de vide dans lequel vont circuler l'eau et l'air. C'est ce milieu complexe, organisé, structuré en petits agrégats, qui va être colonisé par les racines des plantes. Une des premières fonctions du sol, c'est d'être un milieu favorable pour le développement des plantes qui intéressent l'homme. Mais il y a aussi d'autres fonctions. En particulier une fonction épuratrice: le sol est capable, par le support physique qu'il constitue, par la circulation des fluides, par la présence d'organismes vivants, de transformer toute une série de produits qu'on lui apporte, notamment des produits dont on veut se débarrasser. Il y a aussi une fonction de support, une fonction de stockage : c'est une sorte de garde-manger qui restitue l'eau ou les minéraux au fur et à mesure des besoins de la plante. Alors on peut parler de dégradation des sols à partir du moment où l'une de ces fonctions est altérée.

J.L. Morel : *La fertilité et les interactions plante-sol*

Je voulais ajouter un point sur la matière organique, qui est un facteur clé de la fertilité des sols. La matière organique joue un rôle fondamental au niveau de l'organisation des particules de terre, de la structuration des sols, de la définition de la porosité. Cette matière organique provient des plantes, producteurs primaires qui permettent les entrées de carbone dans le système, et sans la plante on peut dire que le sol a peu de chances d'évoluer fortement. Les plantes ne sont pas seulement des pompes d'eau et d'éléments nutritifs, elles peuvent aussi agir sur le milieu. Certaines racines ont la capacité d'acidifier leur milieu. Il y a donc interaction entre le sol et la plante, c'est un système complexe où la plante joue un rôle central.

F. Breton :

Quels types de dégradation sont effectivement observés? L'érosion est un phénomène général, très visible, que l'on voit souvent dans les pays du Tiers-Monde, mais qui existe aussi en Europe.

P. Brabant : *Évaluer les caractères des dégradations*

Quand on se pose la question de savoir si un sol est dégradé, il faut savoir par rapport à quel état de référence, ce n'est pas toujours facile à évaluer. Il faut tout d'abord déterminer le type de dégradation et la surface concernée, c'est assez facile, puis le degré de dégradation, c'est beaucoup plus difficile. Pour évaluer le degré de dégradation, on essaye de voir, parmi les cinq fonctions essentielles du sol, laquelle est touchée. Si le sol faisait deux mètres à l'origine et s'il ne fait plus qu'un mètre, la fonction "support de la plante" a été altérée, ainsi que la fonction "banque d'éléments nutritifs". Parfois c'est la fonction "capacité de stockage de l'eau", lorsqu'il n'y a plus d'infiltrations. Donc, on essaye de voir laquelle de ces fonctions est dégradée, s'il n'y en a qu'une ou bien plusieurs, et à quel degré. On a essayé de discerner deux grands types de dégradation. Celle que l'on appelle communément "érosion", c'est-à-dire que la terre s'en va, il y a des ravines, la terre part dans la rivière ou la mer. L'autre forme, c'est la dégradation: la terre reste en place mais il y a, par exemple, acidification, ce qui peut faire diminuer les rendements. L'érosion naturelle est d'environ quatre-vingt millimètres par millénaire. Actuellement, l'érosion moyenne serait du double, seize centimètres par millénaire. Mais il y a des sols beaucoup plus érodés que d'autres. Je pense que la principale cause de dégradation dans les pays en voie de développement, c'est

l'érosion par l'eau, même si l'érosion par le vent est plus importante, rapportée aux surfaces. Et dans certains pays parmi les plus arides, la salinisation.

F. Breton :

Quels sont les processus de dégradation des sols ?

C. Cheverry : *Érosion et densification des sols*

L'action la plus spectaculaire, c'est l'arrachement des particules, sous l'action mécanique de l'eau, en particulier là où il y a des précipitations violentes, et transfert de ces particules vers les parties plus basses du paysage. Ce sont des phénomènes connus depuis des millénaires, avec des mesures de lutte connues depuis des millénaires également: des banquettes pour empêcher la terre de descendre, des mesures pour ralentir l'eau. Actuellement, on se rend compte qu'il existe d'autres formes de dégradation, moins spectaculaires mais tout aussi graves. C'est tout ce qui a trait à la compaction de la partie supérieure des sols à la suite de l'activité de l'homme, et en particulier son activité agricole, d'ailleurs souvent liée à un appauvrissement biologique. Très souvent, on observe dans le monde moderne que les vingt centimètres superficiels du sol se tassent, la terre se densifie, donc il y a moins d'espace pour que l'eau et l'air circulent, les conditions de vie sont moins bonnes, et surtout, face à ce sol compacté, des pluies qui en temps ordinaire s'infiltreraient vont commencer à ruisseler.

F. Breton :

Qu'est-ce qui est à l'origine de cette densification ?

C. Cheverry : *Densification par compaction des sols*

La première, c'est qu'on a laissé le sol s'appauvrir en matière organique. Or cette matière organique favorise la structuration des sols et la pénétration de l'air. Souvent, on a laissé s'appauvrir biologiquement les sols. Et puis on a des pratiques qui en apparence sont modernes (passages de tracteurs) qui se traduisent par des pressions mécaniques exercées sur un sol devenu plus vulnérable, plus fragile.

F. Breton :

Densification qui doit avoir un effet plutôt néfaste sur la faune de ce sol ?

P. Lavelle : *L'agriculture moderne et un cyclage insuffisant de la matière organique*

Les plantes occupent un rôle central dans la vie des sols, et le problème de l'érosion est lié en grande partie aux changements de végétation liés aux activités humaines. S'il y a de l'eau qui ruisselle, c'est parce que la végétation n'assure plus le rôle de couverture qu'elle a dans les systèmes naturels. Un champ de maïs, c'est une plante espacée tous les quarante centimètres, et les plantes sont présentes pendant quatre mois de l'année, le reste du temps le sol est à nu. Ensuite, le fait qu'on ait des systèmes qui, certes, produisent beaucoup, mais dont la matière organique est exportée, fait qu'il n'y a plus les retours de matière organique et d'énergie au sol. C'est là qu'intervient le rôle de la faune et de la compaction : si vous n'avez plus dans le sol cette énergie qui permettait aux animaux du sol d'agir comme des mini-tracteurs, de produire des agrégats, de faire des trous de différentes tailles, le sol commence à se tasser. Si l'on y ajoute les tracteurs, on aboutit à ce phénomène que l'on observe partout.

F. Breton :

Dans les forêts tropicales où les arbres sont coupés, on aboutit au résultat un peu similaire, une sorte de couche compacte du sol.

P. Lavelle : *Un système de dégradation analogue dans les forêts tropicales*

Oui, ce sont les observations que l'on a faites en Amazonie centrale, où il y a dix millions d'hectares qui sont dégradés, et on se perd en conjectures sur l'origine de cette dégradation. Certains disent que c'est une dégradation des conditions de nutrition des plantes. Nous avons constaté que c'est lié à la destruction de la forêt. Dans la forêt, vous avez un millier d'espèces d'invertébrés qui conditionnent le sol. Certains produisent des grosses structures compactes, par exemple une termitière c'est conçu pour durer trente ans, et à côté vous avez des fourmis ou des termites plus petits, qui font des trous dedans, et qui équilibrent la fonction compactante de certaines espèces en décompactant. Par exemple, les fourmis, à la surface du sol, déposent des petits déblais fragiles, alors qu'un ver de terre fera plutôt un turicule, une déjection très compacte, surtout si elle a séché. Donc, ce que nous avons observé, c'est que lorsque la forêt est défrichée, on élimine l'essentiel de toutes ces espèces, et toutes les niches laissées vacantes sont occupées par un seul ver de terre qui est une espèce un peu mutante, adaptée à toutes les perturbations induites par l'activité humaine. Cette espèce

commence à occuper la niche des autres et à pulluler, si bien qu'en termes de quantité on peut avoir des biomasses de 500 kg ou une tonne de vers de terre à l'hectare, ce qui est l'équivalent d'une prairie normande chez nous, donc une activité biologique très intense. Mais comme c'est une seule fonction qui est développée, celles des espèces compactantes, ces vers déposent à la surface du sol des tas énormes de déjections et comme ils ont ingéré un sol pauvre en matière organique, ces structures deviennent instables et aux premières pluies tout cela fond et forme une croûte. Ensuite, toute la partie inférieure du sol est dans des conditions asphyxiantes, tandis qu'à la surface on a une croûte dure qui ne permet pas à l'eau de s'infiltrer. Et donc on commence à voir apparaître des grandes taches dans les pâturages, où l'herbe n'arrive plus à pousser. L'intérêt de cet exemple, c'est d'attirer l'attention non seulement sur l'activité quantitative de la faune, mais aussi sur l'importance de sa diversité.

P. Brabant : *Une mauvaise répartition des précipitations sous les tropiques*

Dans les pays tropicaux, les problèmes de tracteurs et d'engins lourds ne se posent pas. Il pleut beaucoup, il tombe beaucoup d'eau en peu de temps, et quand le sol est dénudé, l'érosion est extrêmement rapide. Au début, on ne s'en aperçoit pas, parce que c'est une érosion qu'on appelle "en nappe", c'est l'eau qui coule sur le sol et emporte la meilleure partie du sol, la couche d'humus. Au bout de quelques années, on commence à voir de petites ravines, des griffes d'érosion, et quelques années plus tard ce sont de vraies ravines. Au début, on peut récupérer assez facilement, mais lorsqu'il se forme des ravines, c'est très difficile.

F. Breton :

Il y a d'autres problèmes de dégradation des sols: l'acidification, l'appauvrissement chimique, ...

C. Cheverry : *L'impact de la notion de pH sur la fertilité*

Dans beaucoup de régions du monde, on a un appauvrissement naturel. Lorsqu'il pleut assez fortement, une partie des éléments sont naturellement entraînés en profondeur où les plantes ne peuvent les utiliser. C'est le cas dans un pays aussi tempéré que la France. Des études, menées par l'INRA à côté de Versailles, montrent que le pH d'un sol diminue naturellement sous l'action de la pluie: le sol s'acidifie. A cela, l'homme a ajouté des causes d'appauvrissement, en cultivant des plantes qui pompent plus d'éléments chimiques qu'elles n'en

apportent ou que ceux qui sont libérés par la roche mère à un rythme trop lent, ou par l'humus.

F. Breton :

La salinisation est aussi un problème qui résulte des pratiques culturales.

C. Cheverry : *Les mécanismes et effets de la salinisation des sols.*

La salinisation n'est pas un problème d'appauvrissement des sols. On serait même tenté de dire d'enrichissement des sols, puisque c'est l'accumulation dans la partie superficielle des sols d'éléments chimiques. Malheureusement ce sont des éléments chimiques très particuliers que l'on appelle des sels, qui sont très solubles: des sels de sodium, de magnésium, et parmi les anions présents : des chlorures, des sulfates. Très souvent, ces sels viennent des eaux d'irrigation. Ces sels sont en faible quantité, mais l'eau d'irrigation s'évapore et le peu de sel présent se concentre peu à peu dans la partie superficielle des sols. A partir de là, soit l'eau du sol devient de plus en plus salée et la plante en souffre (par suite de phénomènes osmotiques), on a une dégradation chimique réelle et une stérilisation des sols, soit on est capable d'exporter ces sels au-delà de la zone racinaire, au fur et à mesure, et c'est ce qu'on appelle le drainage: on utilise un surplus d'eau pour débarrasser le sol de ces sels. Je signale que, en 1996, à l'échelle mondiale, on estime que le nombre d'hectares créés pour l'irrigation (1,5 millions d'hectares) est compensé par un nombre équivalent d'hectares qui sont perdus parce qu'on les a laissés devenir trop salés.

P. Brabant : *La salinisation un problème des zones arides*

La salinisation, c'est plutôt dans les zones arides, or dans ces zones il n'y a pas beaucoup d'eau. Il faut trouver l'eau pour désaliniser, et aussi des capitaux : c'est difficile à faire. L'acidification est plus facile à traiter : on peut trouver des plantes qui s'adaptent à des sols acides, et quand il y a du calcaire on peut chauler la terre.

F. Breton :

Les problèmes liés à l'usage d'engrais, de pesticides, ou aux rejets de métaux lourds concernent plutôt nos pays développés.

J.L. Morel : *Polluants et biocides*

Ces produits rendent service mais ils peuvent avoir des effets négatifs. On peut retrouver des pesticides dans les eaux de drainage. Par exemple, pour

l'atrazine qui est un désherbant du maïs, on constate qu'après vingt ans d'utilisation de l'atrazine, si on cesse d'apporter de l'atrazine, on en retrouve six ans après dans les eaux de drainage, qui se retrouve ensuite dans les écosystèmes. D'autres polluants proviennent de l'activité urbaine ou industrielle, qui relâchent dans l'atmosphère des métaux lourds ou d'autres éléments comme le sélénium ou l'arsenic. Ces substances se retrouvent sur les sols et peuvent entraîner des désordres au niveau de la biologie des sols.

F. Breton :

Le problème, c'est l'accumulation de ces éléments. Il faut déterminer à partir de quel seuil le sol est vraiment dégradé.

J.L. Morel : *La réduction des transferts et les polluants*

Il faut distinguer deux types de substances à caractère polluant: les substances organiques, dont on peut penser qu'à terme elles seront dégradées, même si entre temps elles ont provoqué des désordres, et les éléments minéraux qui eux s'accumulent, puisqu'ils ne sont pas dégradables, et peuvent poser des problèmes à terme au niveau de la biologie, du fonctionnement des micro-organismes, mais aussi des problèmes de transfert: ils peuvent arriver dans la chaîne alimentaire terrestre dont le premier maillon est le végétal.

F. Breton :

Il y a eu un problème de cet ordre au Japon, avec le cadmium, il y a longtemps.

J.L. Morel : *L'exemple de la baie de Minamata*

On se souvient tous de la maladie causée par le mercure, qui a affecté les pêcheurs de la baie de Minamata au Japon. Cette maladie a déclenché les recherches sur la dynamique du mercure dans les écosystèmes. Pour le cadmium, c'est la même chose: c'est un village d'agriculteurs installé en aval d'une usine métallurgique qui rejette du zinc, du plomb et du cadmium. Les eaux chargées en métaux se retrouvent sur les terres agricoles, les villageois consomment le riz contaminé par le cadmium et développent une maladie liée à l'intoxication par le cadmium (dans les années 50-60).

F. Breton :

La difficulté est de détecter ces éléments dans le sol, et d'estimer le risque : la rapidité avec laquelle ces éléments passent dans les plantes dépend de beaucoup de facteurs.

J.L. Morel : *De la statique et de la dynamique*

Actuellement, les outils dont on dispose permettent de déterminer la teneur totale de l'élément dans un sol, mais cette teneur ne signifie rien quant au transfert potentiel dans le végétal, ce qu'on appelle la biodisponibilité, ou phytodisponibilité. La recherche doit donc développer des outils pour évaluer correctement cette biodisponibilité, qui dépend de la nature de l'élément, de la forme sous laquelle il a été introduit dans le système (pollution atmosphérique, déchets, engrais, ...), de la composition du sol, de la plante (certaines excluent les éléments, d'autres les accumulent), du climat, et des pratiques agricoles (chaulage, engrais, ...)

F. Breton :

Claude Cheverry, vous connaissez bien le problème de la pollution agricole en Bretagne.

C. Cheverry : *Un exemple d'autopollution agricole: la Bretagne*

Oui, la Bretagne est devenue la première région agricole française, en particulier en matière de production animale. On emploie un terme paradoxal : on parle de production hors sol, comme si on arrivait à se passer du sol. En fait, les Bretons ont besoin de leur sol pour se débarrasser de leurs déchets. Pour prendre un exemple, il y a en Bretagne un grand nombre de cochons, qui produisent de la viande mais aussi des déjections animales, des lisiers. Or, pour des raisons de nutrition, on donne à manger aux porcs du cuivre et du zinc (en complémentarité minérale), qui est rejeté à 95% dans les urines et retourne au sol. A ce moment-là, on retrouve tous les problèmes qu'évoquait J.L. Morel: comment ces éléments vont-ils être stockés dans le sol, sous quelle forme chimique exacte... En Bretagne, on estime que si on ne trouve pas des solutions en matière d'alimentation animale, on risque une phytotoxicité à l'échéance d'environ un siècle.

F. Breton :

Il existe des sols déjà très pollués par des éléments de ce type, et on cherche à élaborer des techniques pour les dépolluer: des techniques physiques simples, qui coûtent cher, et des techniques par les végétaux, qui ne sont pas encore au point mais qui sont prometteuses.

J.L. Morel : *Les techniques de dépollution des sols.*

La dépollution des sols est un domaine assez récent. Ces techniques sont surtout appliquées à des sols très contaminés, comme des sols laissés par d'anciennes industries, les friches industrielles. Il y a deux grandes voies : la technique de la "boîte de conserve", qui consiste à immobiliser la pollution par des barrières physiques, des membranes qui isolent la terre polluée ; des méthodes chimiques qui permettent un lavage des sols, d'extraire les métaux et de les récupérer. Pour les polluants organiques, des traitements thermiques: il s'agit d'incinérer les terres polluées pour les débarrasser de leurs polluants organiques. Tous ces traitements laissent un résidu qui ne peut plus vraiment être appelé de la terre, c'est un matériau relativement stérile. Une autre voie très développée, c'est la voie biologique : on utilise le potentiel microbien des sols pour transformer les polluants organiques et permettre une dégradation rapide, à condition de favoriser l'activité des micro-organismes, d'apporter de l'oxygène, des éléments nutritifs (azote et phosphore, eau). Pour les minéraux, c'est un autre problème. Le biologique, si l'on s'en tient aux micro-organismes, peut jouer en termes d'immobilisation: on peut piéger les métaux par des micro-organismes. D'autres techniques, qui s'appuient sur le végétal, sont explorées : c'est la phytoremédiation. Le premier réflexe en gestion des sols pollués doit être de couvrir le sol pour limiter les processus de ruissellement et d'érosion. Une autre voie, qui s'appuie sur les végétaux, est la phyto-extraction. Elle consiste à utiliser des plantes hyper-accumulatrices (qui absorbent des quantités énormes de métaux dans leurs parties aériennes). Dans le principe, il s'agit de cultiver ces espèces, de les récolter, d'incinérer la biomasse, le résidu d'incinération pouvant être mis en décharge, stocké, ou bien éventuellement réutilisé en métallurgie. Des travaux américains ont montré qu'il s'agissait d'une voie intéressante pour exploiter des gisements pauvres en nickel, en exploitant une espèce locale qui jouerait le rôle de "mineur biologique" pour sortir ce nickel qu'on ne peut pas extraire par des méthodes traditionnelles de manière économiquement intéressante.

F. Breton :

Il s'agit d'espèces qui se sont adaptées à des zones riches en ces métaux, par exemple en Nouvelle-Calédonie où il y a beaucoup de nickel. On utilise une adaptation de ces plantes pour pouvoir se débarrasser de ces métaux ailleurs.

J.L. Morel : *Des exemples de concentration naturelle de polluants*

Oui, c'est le "champion du monde", *Sebertia acuminata*, un arbre qui a une sève bleu turquoise, colorée par le nickel (elle en contient 20-25 %), on l'appelle aussi le sève bleue. Bien sûr, il n'est pas question de travailler avec cette espèce qui pousse très lentement, mais il y a là un modèle intéressant de fonctionnement d'une plante hyper-accumulatrice. Dans ces plantes, on trouve des teneurs de l'ordre de 1 à 5 % de métaux dans les parties aériennes, sur la base de la matière sèche, alors que les plantes normales en contiennent 500 à 1000 fois moins.

P. Brabant :

Vous voyez la différence entre l'érosion hydrique ou éolienne et ces pollutions par l'industrie ou l'agro-alimentaire : dans le premier cas, on peut le récupérer, il n'y a pas de répercussions sur la santé humaine ; dans le deuxième cas, c'est tout de même assez inquiétant. Dans le cadre du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, nous avons fait il y a quelques années l'inventaire mondial des zones les plus dégradées dans le monde. Il y a des zones touchées, par exemple après l'accident de Tchernobyl il y a des zones radioactives. Mais les zones qui sont systématiquement polluées depuis des décennies, avec l'approbation des instances nationales et européennes, je me demande si elles ne sont pas en France. Actuellement, je ne connais pas de région dans le monde plus polluée que la Bretagne : il y a les sols qui sont pollués, il y a aussi l'eau, et l'air.

C. Cheverry : *La gestion des sols; la priorité du XXI^e siècle*

Derrière cela, il y a un problème de fond: depuis vingt ans nous avons trop axé nos réflexions sur la seule qualité de l'eau, et en particulier sur sa potabilité. Je suis persuadé que, pour les vingt ans à venir, on va de plus en plus s'intéresser à la gestion des sols, parce que c'est là où se génère la qualité de ces eaux. Il faut gérer les sols bretons de manière telle qu'ils ne créent pas (à leur base) dans les nappes phréatiques des eaux de qualité trop dégradée. La Bretagne est un des lieux, non pas les plus dramatiquement pollués du monde, mais où s'impose le plus la mise en place d'observatoires de la qualité des sols: qu'on mette en place des dispositifs qui permettent de suivre dans le temps l'évolution de paramètres ou d'indicateurs qui donnent un état des lieux.

P. Lavelle : *Une implication de l'État et de la science*

Il existe effectivement en France un observatoire de la qualité des sols, qui a été mis en place par le Ministère de l'Environnement, à l'INRA. On y accorde beaucoup d'importance à la biologie du sol, et en particulier la faune: la première façon de savoir si un sol fonctionne mal, c'est d'aller voir comment se comportent ses habitants. Également, on met au point des méthodes de restauration des sols dégradés physiquement, basées sur une restauration des activités de la faune. Notre équipe vient de déposer un brevet, avec des collègues indiens, sur une méthode qui associe des résidus organiques, des déchets, qui sont ré-enfouis dans le sol, avec un ver de terre bien particulier, et qui donne des résultats formidables. On arrive à doubler la production du thé, mais en même temps on recapitalise le sol en matière organique.

F. Breton :

Pierre Brabant, vous êtes pessimiste en ce qui concerne la Bretagne, mais optimiste pour l'Afrique, où vous pensez qu'il y a beaucoup de possibilités.

P. Brabant : *Une référence à l'Afrique*

En République Centre Africaine, il y a moins de 5 % des terres cultivées, donc il reste de la place. Les contraintes climatiques ne sont pas excessives, il pleut suffisamment. C'est la même chose au Togo.

F. Breton :

Mais dans certains pays, il y a un manque de phosphore dans le sol qui fait que les rendements sont très faibles.

P. Brabant : *La région du Congo*

Oui, certains sols sont de moindre qualité, mais lorsque l'agriculture est pratiquée de manière raisonnée, ça pousse bien. Dans le centre de l'Afrique (RCA, Congo, ex-Zaïre), il y a une énorme zone non cultivée, de plusieurs centaines de km de long et de 1500 km de large, qui est tout à fait exploitable.

P. Lavelle : *Cultiver et/ou préserver*

C'est vrai, mais ce sont des zones de forêt tropicale, une ressource qui contient 80-90 % de toutes les espèces mondiales, dont à peine le dixième est connu. S'imaginer qu'on va pouvoir cultiver toutes ces surfaces, c'est ne pas tenir

compte du fait qu'on a le devoir de préserver toute cette diversité. La chose n'est donc pas si simple.

C. Cheverry : *Le mythe de l'artificialisation en agriculture*

Je voudrais dire ceci, parce que je suis raisonnablement optimiste, même dans le cas d'une région menacée comme la Bretagne en matière de dégradation des sols. Nous sortons d'une période où les agriculteurs pensaient - et nous le leur avons dit pendant longtemps, y compris les instituts de recherche - qu'on pouvait artificialiser le milieu, se débarrasser des contraintes du milieu. Si le sol était chimiquement pauvre, il suffisait d'apporter des éléments compensateurs, si le sol était difficile à travailler, il suffisait d'utiliser des engins mécaniques plus puissants, s'il manquait d'eau on irriguait... Donc on était dans une période où chaque fois qu'on avait une contrainte (en particulier une contrainte de sol), on pensait que la technique moderne arriverait à nous abstraire de cette contrainte. Mais on se rend compte que cette volonté de ne pas tenir compte des contraintes du milieu, donc en fait des potentialités du milieu, nous conduit à l'impasse. Elle est très coûteuse, y compris financièrement, elle conduit à des risques majeurs en termes de qualité des sols, des eaux et de l'atmosphère. Je crois que les acteurs principaux que sont les agriculteurs s'en rendent compte, et c'est pour cela que je suis optimiste, car cela veut dire qu'ils vont accepter de moins artificialiser leur production.

P. Lavelle : *Une correction par des efforts collectifs*

Je voudrais recadrer cela dans un contexte plus général. Si les sols sont dégradés dans les pays tropicaux, c'est souvent que les gens sont trop pauvres pour avoir les outils nécessaires pour bien cultiver. Dans nos pays, c'est qu'on a poussé les gens à l'intensification. Donc c'est un effort collectif, ce n'est pas seulement la personne qui gère le sol qui est concernée.

J.L. Morel : *Nous traitons les résultats de l'industrialisation et de l'agriculture intensive*

Les pollutions actuelles ont été générées par des pratiques (industrielles ou agricoles) peu respectueuses de l'environnement. Avec le développement des technologies propres, on peut espérer que les rejets de substances polluantes dans le milieu vont diminuer. En ce moment, on traite des situations qui ont été générées par l'agriculture intensive et l'industrialisation.

P. Brabant :

Dans certains cas, le fait de mettre en culture améliore le sol, c'est le cas des rizières en Asie.

E. Roose : *L'érosion des sols et la régie de l'eau*

Les problèmes d'érosion sont vraiment importants. Dès qu'on défriche une forêt, on a un déséquilibre des sols qui se manifeste par des problèmes d'érosion. L'érosion est pour moi un indicateur d'une mauvaise gestion du milieu naturel. Les problèmes actuels d'érosion sont très importants, non pas tant parce qu'ils laissent à la surface du sol des cicatrices, des ravines, mais surtout parce qu'ils dégradent la fertilité des sols. Or le défi de ce siècle, c'est le doublement de la population des régions tropicales tous les vingt ans, alors que les sols cultivés de cette région se dégradent. On a cru au départ en voyant les grandes forêts tropicales que les sols étaient extrêmement riches, or il n'en est rien, dès qu'on défriche ces forêts et que l'on rompt l'équilibre entre les racines qui pompent les éléments nutritifs dans le sol et les feuilles qui tombent à terre et les restituent, on constate que rapidement la matière organique du sol se dégrade, et au bout de trois ou quatre ans les phénomènes d'érosion se manifestent. Un premier échec que je voudrais souligner : les stratégies de conservation des eaux et des sols qui ont été jadis mises au point par Benett aux USA en 1930 ne sont pas adaptées aux petits paysans d'Afrique: ils permettent de maintenir le volume des sols, la qualité des eaux nécessaires pour les barrages, mais ils n'améliorent en rien la productivité de ces sols, si bien que les paysans finissent par abandonner ces méthodes anti-érosives. Depuis 1987, nous disposons d'une analyse de ces échecs qui correspondent à plus de 70 % des grands programmes de lutte anti-érosion de la FAO et du PUNI. On a constaté que le point essentiel était la non-participation paysanne. A partir de 1987, on a développé une nouvelle stratégie que j'appelle "gestion durable de l'eau, de la biomasse, de la fertilité des sols" qui tente de répondre d'abord aux problèmes des paysans, à savoir comment valoriser la terre et le travail, comment intensifier les cultures tout en protégeant la terre et l'environnement rural. Ceci est possible si on observe des règles, qui m'ont été "révélées" par les paysans. Par exemple, les paysans Mossi ont une stratégie de récupération des terres dégradées.

F. Breton :

Votre solution consiste à utiliser les structures traditionnelles en y apportant d'autres éléments ?

E. Roose : *Des techniques adaptées aux traditions*

Nous sommes venus jadis en croyant que le paysage n'était guère structuré par les populations locales. Les ethnologues nous ont montré le contraire, mais personne n'a fait le lien avec les ingénieurs chargés d'amener des techniques. Ces techniques ont été importées telles quelles des USA, elles ne sont pas du tout adaptées au milieu tropical, ni d'un point de vue technique, ni d'un point de vue socio-économique. C'est pourquoi il y a eu un rejet en Afrique de toutes ces méthodes. Je ne dis pas non plus que tout ce qui est traditionnel est bon : je pense que les techniques traditionnelles étaient adaptées à un milieu socio-économique donné, or dans certaines régions d'Afrique les populations ont été multipliées par cinq en un siècle.

F. Breton :

Les travaux que vous avez fait en Algérie montrent que l'on peut, en s'adaptant au milieu, arriver à augmenter les productions et à faire adopter ces techniques par les paysans.

E. Roose : *La conservation des sols qui pénalise les paysans*

Ce que les paysans reprochent aux techniciens de la conservation des sols, c'est qu'après avoir investi 300 jours de travail dans un hectare, la production de ce champ non seulement n'augmentait pas mais souvent diminuait puisque 5 à 15 % de la surface était réservée aux activités de conservation des sols. Par contre, si on arrive à valoriser les terres, à intensifier les rendements, on peut répondre aux problèmes des paysans. Et pour ce faire, bien sûr, il faut lutter contre l'érosion, mais ce n'est plus le porte-drapeau. En Algérie par exemple, on a travaillé sur de bons sols, où la production traditionnelle était de 700 kg de grains de céréales par hectare et par an. Sur 5000 kg de grains et les pailles sont passées de 200 kg à 2000 kg. Non seulement on a obtenu une auto-suffisance en céréales, mais en plus on peut assurer l'alimentation du bétail.

F. Breton :

Le coût n'est-il pas trop élevé ?

E. Roose : *Les techniques et les résultats de la gestion des sols en agriculture*

Dans le système traditionnel, le rendement est de 250 dirham/ha/an. En intensifiant par l'usage d'engrais, par de bonnes techniques culturales, de soins phyto-sanitaires, on a multiplié par dix le bénéfice net de ces rendements. Nous discutons régulièrement avec les paysans de nos résultats et nous adaptons les expériences à leur point de vue. Au bout de quatre ans, toute la région utilisait ces techniques. Nous les avons introduites aussi au Cap Vert, au Cameroun, au Burkina, dans le nord et le sud de la France. Il semble que cette approche, sans être la panacée universelle, permet d'avancer vers une meilleure exploitation durable et intensive des sols. Au Mozambique, pays qui sort de 14 ans de guerre, les paysans sont réduits à une agriculture de brûlis, c'est-à-dire que l'on vit sur la fertilité accumulée dans les plantes arbustives pendant des dizaines d'années. La végétation se dégrade rapidement, et des problèmes apparaissent: la production des sols décroît, les rivières gonflent lors des grandes crues, charrient un volume de sable considérable, sortent de leur lit et envahissent les meilleures plaines. Ce sont les paysans qui discutent avec les ONG locales et veulent savoir ce qu'on peut faire, si bien qu'on arrive à définir des méthodes avec eux, en s'appuyant sur ce qui existe, leurs connaissances et leurs moyens, en travaillant dans le sens d'une amélioration du couvert végétal, d'une gestion des eaux superficielles, d'un investissement en matière organique dans les sols, et d'une valorisation des déchets produits, en particulier le fumier et les compost disponibles. Je suis optimiste sur les possibilités de faire quelque chose, mais il est nécessaire d'avoir une politique très ferme des gouvernements. Il est possible d'améliorer significativement la productivité des paysages tout en les protégeant, mais cela demandera un réel effort.

Publication n° 114
mars 2000
Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux
UNIVERSITÉ LAVAL
Département des Sciences du Bois et de la Forêt
Québec G1K 7P4
QUÉBEC
CANADA
courriel
gilles.lemieux@sbf.ulaval.ca
<http://forestgeomat.ffg.ulaval.ca/brf/>
FAX 418-656-5262
tel. 418-656-2131 local 2837