

631.40720714
C7146r
1986

37

Rétrospective de la recherche sur les sols au Québec

Cahiers
de l'ACFAS
1986



Les Cahiers de l'ACFAS

No 37

Rétrospective de la recherche sur les sols au Québec

Responsables: Michel Nolin
Agriculture-Canada
Diane Saint-Laurent
Camille Laverdière
Département de géographie
Université de Montréal

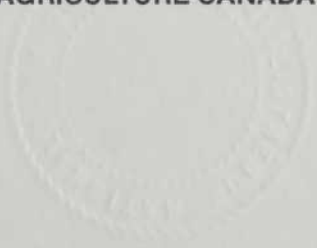
Édition: L'Association canadienne-française
pour l'avancement des sciences
2730, chemin de la Côte Ste-Catherine
Montréal H3T 1B7 (342-1411)

Distribution: Les Presses de l'Université du Québec
C.P. 250, Sillery, Québec G1T 2R1
Commandes sans frais téléphoniques:
1-800-463-4799

© 1985 Association canadienne-française pour l'avancement des sciences
Dépôt légal, 1^{er} trimestre 1986
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN: 2-89245-046-2

RÉTROSPECTIVE DE LA RECHERCHE SUR LES SOLS AU QUÉBEC

**ACTES DU COLLOQUE SUR
LA RÉTROSPECTIVE DE LA RECHERCHE
SUR LES SOLS AU QUÉBEC,
TENU EN MAI 1985 À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
À CHICOUTIMI, DANS LE CADRE
DU 53^e CONGRÈS DE L'ACFAS
TEXTES PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE
MICHEL NOLIN, AGRICULTURE-CANADA**





Bibliothèque Nationale du Québec

S
599.1
Ø4C65
1986

AVANT-PROPOS

De la création d'une sous-section de pédologie et de
l'organisation d'un colloque au 53^{ième} congrès de l'ACFAS

Camille Laverdière et Diane Saint-Laurent

Département de Géographie

Université de Montréal

B.P. 6128, succ. A

Montréal, H3C 3J7

Répétons-le: la pédologie à l'ACFAS s'y exprime depuis longtemps. Commençons il y a 40 ans où immédiatement après la Guerre. A l'occasion de ce 13^e congrès annuel tenu alors à l'automne, du 7 au 8 octobre, à l'université de Montréal, Roger Baril présente, dans la section "Agronomie et Médecine vétérinaire", une communication sur "La clé des sols du comté de Châteauguay" (Ann. ACFAS, 1946 vol. 12, p. 88). Dans son résumé, il déplore tout particulièrement l'opinion de certains partisans de l'agrogéologie qui veulent que même nos podzols, malgré leur profil, soient encore des sols jeunes comme conséquence de leur immaturité géologique". En 1959, toujours Roger Baril, avec Bertrand Rochefort, donne la communication du titre de "Lecture du profil et identification d'horizons nouveaux dans les podzols québécois" (Ann. ACFAS, 1960, vol. 26, p. 48).

Retrouvons-nous en 1984, le 14 juin, sur le terrain ou hors des murs de l'ACFAS: Michel Nolin réunit plusieurs dizaines de participants à une excursion pédologique (Chambly). L'occasion n'était-elle pas des plus propices pour inviter les membres présents à se donner un lieu de diffusion de leur connaissance qui pourrait être les congrès annuels de l'ACFAS; il s'agirait de créer une section de pédologie. Par cette invitation, nous ne voulions que donner le coup d'envoi d'une entreprise qui doit rapidement appartenir, en fin de compte, à tous ceux qui font la science des sols. A cette occasion, W. Hendershot du Macdonald College s'associait à nos efforts; la participation de Michel Nolin s'imposait d'elle-même. Les réponses empressées à notre invitation furent telles --

reprise par lettres circulaires à l'hiver de 84-85 -- dont celle du directeur du département des Sols à l'université Laval, Michel Cescas, que déjà le succès de la rencontre était assuré.

Le directeur de l'ACFAS, Guy Arbour, voulait que nous demeurions à l'intérieur de la section des "Sciences agronomiques" au cours de notre première année d'existence. Face au succès envisagé, il nous demanda aussi, le 25 janvier dernier, de faire encore plus et d'organiser un colloque. Qui d'autres que Michel Nolin pouvait s'occuper de trouver le thème ("Rétrospectives de la recherche sur les sols au Québec") et de réunir les responsables des exposés. Retenons que l'invitation adressée à tous disait que "le colloque vise principalement à regrouper tous les chercheurs et praticiens de la science du sol au Québec en vue de former une éventuelle association..."

Il n'en fallait pas davantage pour que Marton Tabi, Directeur du Service de recherches en sols à Québec, invite plusieurs collègues, le jeudi 16 mai, à faire connaître de quelle façon, à Chicoutimi, la salle pourrait être amenée à se donner sa propre société de pédologie, et comment cette dernière pourrait naître au cours des prochains mois, ou lors du prochain congrès de l'ACFAS qui se tiendra à Montréal. C'est alors que tous les intéressés à la science des sols y seraient présents: pédologues d'abord, archéologues, écologistes, forestiers, géographes et géologues, ingénieurs et nous en passons, terrassiers...

Ceci nous amène au poster. Il résulte d'une provocation de Guy Arbour exigeant que les pédologues aient leur propre affiche: il pensait au ver de terre, nous songions à une fleur, bien entendu à un profil dans tous ses horizons, et pourquoi pas à Sol!... Une séance de projection de diapositives lui fut réservée, ainsi qu'au dessinateur Jacques Goldstyn qui a fait des études en géologie; les podzols maritimes des Iles-de-la-Madeleine étaient portés à l'écran, eux dont le seul horizon éluvial fait parfois 60 cm. Il fallait leur enfler les yeux! Sol et le podzol réjouissent tous les amoureux de la pédologie depuis quelques temps; d'après la réception réservée au poster, le but était atteint.

Tout en sachant que le pays de Sol est l'hiver, pourquoi faillait-il lui mettre entre les mains une pelle à neige! Nous songions à un Sol enfoui jusqu'au cou dans un trou qu'il venait de creuser; ce dernier a exigé une falaise, comme aux Iles, avec des galets de plage à ses pieds! La roche profonde, représentée par des briques, est un calcaire, non un grès quartzeux... elle est de plus régolithique, et tous les débris rocheux montent dans le profil. Bref, il y a ici une alcalinité gênante! L'horizon B est inversé, diminuant d'intensité dans l'hirozon sus-jacent, non vers la roche mère! Après tout...

Vive la pédologie enfin autonome à l'ACFAS, ou presque.

N.B. Le poster ne saurait revendiquer quoi que ce soit. Car l'originalité d'un intérêt de la pédologie pour Sol ne vient-elle pas d'abord d'un texte de Lauréan Tardif, diffusé en 1977, du titre de "Le Service de recherche se fait 'Sol'; débit à la manière de 'Sol'!"

Table des matières

Pages

Avant-propos: "De la création d'une sous-section de pédologie et de l'organisation d'un colloque au 53 ^{ème} congrès de l'ACFAS	I
C. Laverdière et D. St-Laurent	
Table des matières	IV
Mot de bienvenue	1
M.C. Nolin	
Historique de la pédologie, de la classification et de la cartographie des sols au Québec	3
R.W. Baril	
Sols organiques. Historique de la recherche	25
L.E. Parent et L. Grenon	
Classification et cartographie des sols organiques	36
L. Grenon et L.E. Parent	
Etude des sols des régions nordiques du Québec	46
S. Payette	
Etude des sols forestiers	47
C. Camiré	
Contribution à l'étude des sols tropicaux	76
M.P. Cescas	
Rétrospective des recherches sur la genèse et la classification des sols au Québec	88
C.R. De Kimpe et Y.A. Martel	
Physique et conservation des sols	115
D. Côté	
Chimie et fertilité des sols	121
A. Dubé	
Microbiologie des sols: étude sur le <u>Rhizobium</u>	131
H. Antoun et L.M. Bordeleau	
La recherche et l'enseignement de la science du sol - Aspect de l'organisation de la recherche de l'enseignement de la science du sol	144
A.F. MacKenzie	
Discours de clôture "Influence des recherches en science du sol pour les milieux"	153
M. Tabi	
Rapport de la réunion de formation de l'Institut de Pédologie du Québec, à Chicoutimi le 23 mai 1985	157
L. Tardif	

MOT DE BIENVENUE

Michel C. Nolin

Equipe Pédologique Fédérale

Agriculture Canada

Complexe scientifique, C 1.208

2700, rue Einstein

Ste-Foy, QC - G1P 3W8

C'est pour moi un grand plaisir de vous souhaiter la bienvenue à ce colloque qui est tenu sous l'égide du 53^{ième} Congrès de l'Association canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS). Comme vous avez pu le constater à la lecture du programme du congrès publié dans un cahier du Devoir dans son édition du vendredi 3 mai 1985, plusieurs disciplines scientifiques ont profité de ce 53^{ième} congrès pour tracer un bilan de l'avancement de leurs travaux scientifiques. Quelque 50 ans après ses débuts, la recherche sur les sols et ses officiers s'interrogent "d'où venons-nous? qui sommes-nous? et où allons-nous?" C'est un peu cette phrase immortalisée sur une peinture de Gauguin qui animera ce colloque.

Mais ce retour dans le temps, avec toute la nostalgie dans laquelle il nous baigne, n'est en fait qu'une toile de fond à un dessein plus futuriste et souhaitons-le, pas trop utopique, à savoir la formation d'une association québécoise des chercheurs et praticiens de la science du sol.

Reprenons donc brièvement le programme de ce colloque. Les conférenciers, tous connus dans leur domaine respectif, vous exposeront l'état des connaissances acquises à ce jour et la contribution du Québec dans l'avancement de la recherche sur les sols. Les domaines présentés seront la chimie, la physique, la fertilité, la microbiologie, la genèse, la classification, la conservation et la cartographie des sols minéraux et organiques, des secteurs agricoles, forestiers et des régions nordiques, de même que la contribution du Québec à l'étude des sols tropicaux.

En préambule au programme des activités du 53^{ième} Congrès de L'ACFAS publié dans le Devoir, on pouvait lire dans un des paragraphes de la fin les commentaires suivants "Certains domaines enregistrent des succès de participation, de qualité scientifique et de satisfaction individuelle à chaque année, d'autres pas. Certaines des sections scientifiques vivent pendant quelques années puis enregistrent soudain des succès inattendus. Il y a des matins où on aime l'image que projette son miroir, d'autres pas". Eh bien, je crois que cette phrase nous était adressée, pas particulièrement à nous il va sans dire, mais si le chapeau nous fait portons-le. Afin d'atteindre un succès continu à travers les ans, il est nécessaire que nous adoptions une structure qui permette de nous regrouper et de distribuer l'information, organiser des activités (colloque, tournée pédologique, débat, etc.) qui débordent le simple cadre agronomique qui accueille d'ailleurs cette sous-section de pédologie et qui permettent à ceux qui oeuvrent dans la recherche sur les sols pour le développement de nos forêts, la construction de nos routes, l'aménagement et la protection de l'environnement de nos parcs et cours d'eau et tous les autres puissent s'y sentir à l'aise et nous fassent profiter de leur connaissance.

En terminant, j'aimerais vous souhaiter une journée fructueuse en information.

53e Congrès de l'A.C.F.A.S. à Chicoutimi

Titre de la communication: Historique de la pédologie,
de la classification et de la cartographie des sols au Québec.

par Roger W. Baril*

INTRODUCTION

De tout temps l'homme a toujours voulu mieux connaître les éléments qui l'entouraient, y compris le sol dont il voulait percer les secrets afin de mieux se nourrir et se vêtir. Les divers moyens qu'il utilisa pour parvenir à cette connaissance ont varié avec les époques et les efforts déployés par des scientifiques des différents pays.

Notre propos d'aujourd'hui porte sur l'historique de la pédologie au Québec. Toutefois, cet historique sera restreint à cette activité essentielle à son développement: la Classification et la Cartographie des sols connues au Québec sous le nom de prospection et de cartographie pédologique et mieux connues encore aux Etats-Unis et au Canada sous le nom de "Soil Survey".

Cette rétrospective historique nous permettra de mesurer les progrès accomplis au plan des concepts et des idées qui ont animé cette science et aussi de nous interroger sur les orientations futures de la pédologie au Québec. Les initiateurs(res) de ce colloque Camille Laverdière, Diane St-Laurent de l'Université de Montréal et Michel C. Nolin d'Agriculture Canada nous ont demandé de ne pas faire et je cite:

*Agronome-pédologue, professeur à la retraite. Travail fait avec la collaboration de M. Marton Tabi, président de l'Institut de recherches pédologiques du Québec et le Département des sols de la F.S.A.A. de l'Université Laval.

"une revue bibliographique exhaustive mais plutôt une énumération de travaux les plus importants, c'est-à-dire ceux qui ont entraîné une certaine orientation de la recherche dans le domaine qui vous concerne", fin de la citation. Pour nous conformer à ce désir nous présenterons, par ordre chronologique, les faits et les événements qui se sont succédé durant presque un siècle depuis la création à St-Hyacinthe du premier laboratoire de chimie agricole et d'analyse des sols en 1888.

On pourrait diviser le cheminement de la pédologie, de la classification et de la cartographie des sols en cinq périodes ou étapes si l'on se place au plan de changements qui nous ont paru les plus significatifs. Ces périodes sont les suivantes: 1er - la période pré-pédologique de 1888 à 1934, celle dite des "analyses de sols"; 2e - la période des premières cartographies des sols de 1934 à 1937 initiées par R.R. McKibbin et P.C. Stobbe au Collège Macdonald; 3e - la période dite "expansionniste" ou du grand développement de la classification et de la cartographie des sols sous l'impulsion de J.E. Thériault et Auguste Scott du Laboratoire Provincial des sols à Ste-Anne de la Pocatière. (Mentionnons que M. Auguste Mailloux a succédé à Auguste Scott et Marton Tabi est l'actuel directeur du Laboratoire des sols devenu le Service de recherche en sols du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, le MAPAQ comme on dit maintenant). Durant cette période une seule équipe ou une équipe seule, celle de Paul Lajoie, était localisée au Collège Macdonald; 4e - la période nouvelle des années 1960 à 1968 que l'on pourrait qualifier de "révolutionnaire" au plan des concepts et des idées en matière de classification taxonomique des sols. Elle correspond à l'implantation du nouveau système taxonomique des sols des américains appelée la "7e Approximation" du USDA: United States Department of Agriculture; enfin, 5e - la période d'une recherche "quantitative" et plus précise pour déterminer la composition des unités de classification (taxonomic units) ou taxons.

Pour terminer nous présenterons une résolution qui, si elle est acceptée par les membres de l'A.C.F.A.S. permettra au Québec de progresser plus vite dans le domaine de la Pédologie, de la Classification et de la Cartographie des sols. L'utilisation et l'aménagement rationnels

de nos sols en seraient grandement facilités.

Reprenons chacune des périodes énumérées précédemment:

1er - La Période pré-pédologique c'est-à-dire "celle des analyses de sols" qui a précédé les travaux de cartographie des sols au Québec.

Cette période s'étend des années 1882 à 1932-1933. *Les notes colligées ici ont été puisées dans l'excellent travail de Lucien Choinière (1948), pédologue averti de la première heure. Choinière mentionne que C.P. Choquette, le premier directeur du laboratoire de St-Hyacinthe fut très actif au cours de sa période de directorat. De plus, Choquette entreprit une vaste étude des sols basée sur les analyses de sols provenant de différentes régions du Québec. Il conclut dans son rapport annuel au Ministère, en 1932, et nous le citons: "il y a très peu d'échantillons de sols qui présentent quelque identité de composition avec les terres à blé du Manitoba". Ajoutons que si ce savant perspicace, l'abbé Choquette devenu plus tard évêque, avait poussé un peu plus loin l'analogie entre les terres de l'Est et de l'Ouest du Canada il aurait pu devancer le russe Dokuchaïev! ce qui n'est pas peu dire. De plus, dans son rapport, Choquette dit aussi: "il est à souhaiter que des analyses mécaniques, physiques et chimiques des terres soient faites sur le plus grand nombre possible d'échantillons pris dans divers points de la province; nous aurions ainsi une carte agronomique de la province, véritable tableau synoptique qui servirait de guide à notre agriculture professionnelle". Ce n'est que 56 ans plus tard qu'un essai de carte agronomique, non pas de la Province de Québec, mais d'un comté, soit celle du comté de Châteauguay, sera faite par *Baril et Mailloux (1950).

*Lucien Choinière, 1948. L'organisation Provinciale de l'étude des sols du Québec. Revue Agriculture, numéro de juin. Congrès des Agronomes. Ce numéro de juin est entièrement consacré à l'étude des sols.

*Roger Baril et Auguste Mailloux, 1950. Etude pédologique du comté de Châteauguay. Division des sols. Bulletin technique no. 2. Ministère de l'Agriculture du Québec. Voir carte agronomique en pochette avec celle des sols.

2e - La période des premières cartographies de sols au Québec de 1934 à 1938.

Puisqu'on a fait état de ce colloque de l'A.C.F.A.S. intitulé: "Rétrospective de la recherche sur les sols" dans l'édition du journal Le Devoir du 3 mai dernier, j'aimerais rappeler ici que nous célébrons cette année le cinquantenaire des premiers travaux de cartographie pédologique. En effet, *McKibbin et Stobbe (1936) publièrent les premiers travaux pédologiques sur les sols organiques de la région de Montréal (appelée le sud-ouest du Québec). Cette étude était accompagnée, en pochette, d'une série de belles cartes coloriées des différentes régions de "sols maraîchers" ou des "terres noires" comme on les appelait jadis.

Le premier comité d'enquête pour l'étude des sols au Québec avait été formé en 1934 par des représentants des deux ministères de l'Agriculture du Québec et d'Ottawa. *R.R. McKibbin, professeur au Collège Macdonald de Ste-Anne de Bellevue fut l'instigateur de cette entente et J. Epiphane Thériault, chef du Laboratoire des sols au Ministère de l'Agriculture à Québec agissait comme interlocuteur provincial. Les locaux qu'abritaient les premières équipes de pédologues étaient situés au Collège Macdonald. P.C. Stobbe, assistant de R.R. McKibbin, agissait comme chef des équipes sur le terrain et au laboratoire. Ces équipes étaient composées de jeunes agronomes pour la plupart: MM. Henri Brunelle, Armand Thériault, Robert Cloutier, celui-là chimiste de formation, R. Cregg, J. Stephens, Bruce D. Cann, étudiant gradué en sols au Collège Macdonald. Roger Baril, étudiant gradué au Collège Macdonald et analyste à forfait des sols organiques s'est joint au groupe en 1936 pour participer activement à la cartographie des sols dits "à vergers" du Québec. Cette étude fit l'objet d'une publication de Stobbe et McKibbin (1938). De plus, McKibbin (rapport inédit) procéda à l'été 1936 à un

*McKibbin, R.R. et Stobbe, P.C. 1936. Les sols organiques du sud-ouest du Québec. Dominion du Canada, Min. Agriculture, publ. 499. Premier rapport. P.C. Stobbe et R.R. McKibbin, 1938. Les sols à vergers de la Province de Québec. Publication 590, bull. technique 11, Dominion du Canada. Ministère de l'Agriculture.

vaste échantillonnage de "sols à pomme de terre" dans les vallées de l'Outaouais, du Haut Saint-Laurent, du Témiscamingue (Mt Laurier) et du Bas St-Laurent (Matane). J'ai eu le privilège d'acquérir de l'expérience en assistant le Dr McKibbin dans l'échantillonnage des sols.

A l'époque, tous les travaux étaient conduits en langue anglaise: ce qui explique en partie le fait que J.E. Thériault, peu enclin à parler la langue de Shakespeare se dissocia du groupe après un été de terrain. Quoi qu'il en soit, nous pouvons rendre hommage au Dr McKibbin qui faisait tout son possible pour nous parler en français, néophytes que nous étions en langue anglaise. De plus il a obtenu auprès des autorités fédérales la traduction des premiers rapports de sols en langue française. Dans le rapport des sols à vergers le concept du terme "série" de sols avait une connotation plutôt géologique. La texture des profils de sols était très importante, exemple: Argile et terres franches de Champlain, sol grevelo-argileux de Sillery* (série St-Nicolas d'aujourd'hui). Parfois le nom de la série avait une connotation de lieux ex.: sol sablo-argileux de Franklin, ou une signification génétique, exemple: le podzol sablonneux comme unité de relevé cartographique. A cette époque le système américain tel qu'exposé par Marbut (1935) dans l'Atlas des Etats-Unis qui venait de paraître était peu connu et peu utilisé par les pédologues de terrain. Soit dit en passant que le dernier numéro du Soil Survey Horizon*(1985), sorti des presses en avril dernier, est consacré entièrement à la vie et à l'oeuvre de l'éminent scientifique qu'était Curtis F. Marbut. Les concepts de "sol normal", sols mûrs et non mûrs, de pédocalcs et de pédalfers de Marbut commençaient à peine d'être prononcés dans les salles de cours des Universités américaines et canadiennes.

*d'après la formation de Sillery (schistes).

*Marbut, C.F., 1935. The soils of the United States. Dans l'Atlas de l'Agriculture, partie 3, re: Advance sheets, no. 8.

*Soil Survey Horizons, 1985. Le numéro 1, volume 26, Spring.

Vous avez sans doute noté que le titre des premières publications de cartographie pédologique portent des titres comme ceux-ci: "sols à vergers", "sols à pomme de terre", "sols maraîchers". Ces termes expriment bien les idées ou les concepts de l'époque...on ne cherchait pas tant à adapter les sols aux plantes mais on voulait plutôt découvrir ce qui donnait la "vertu" à tel ou tel sol et qui le rendait propre à mieux pousser telle ou telle plante. En étudiant les sols qui produisaient le mieux telle ou telle plante on finirait bien par y découvrir les secrets que cachaient les sols, tout comme les apothicaires d'antan finirent par découvrir certains élixirs dans les plantes pour guérir des maux spécifiques (à part...aujourd'hui la "Marijuana")! Notre "recherche" ou "inventaire" des sols mettait en doute notre crédibilité auprès des cultivateurs devenus même soupçonneux à notre endroit et plusieurs se plaignirent auprès de leur député provincial ou fédéral. Nous étions des "intrus" sur leurs terres. Il y aurait plusieurs anecdotes à rapporter sur nos visites chez les cultivateurs. Au surplus, certains administrateurs, avarés de fonds publics, n'étaient pas favorables à un inventaire des sols. Bref, nous étions loin des théories de genèse et des "Recherches" sur les propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des sols et de leur importance dans l'utilisation et l'aménagement du territoire.

Parallèlement à cette époque pionnière dans la cartographie des sols agricoles on procéda, vers les années 1932-1934, à la première cartographie des sols forestiers en Abitibi. C'était au lendemain de la crise qui succéda à l'effondrement spectaculaire de la bourse du Wall Street de New York, en 1929, et le Ministère des Terres et Forêts et de la Colonisation offrait aux jeunes chômeurs des terres à défricher en Abitibi. Il fallait donc aller vite et procéder à l'arpentage, à la division et à la classification des lots à mettre en valeur. Etant donné que ce sujet sera traité par un autre conférencier, me dit-on, (M. Claude Camiré) j'ajouterai un seul mot pour décrire la sorte de classification des "Terres" utilisée. Elle était basée sur la "texture" granulométrique des sols. Pour fins de classement on utilisait, si je me rappelle bien, les trois catégories suivantes: 1er - les sols immédiatement colonisables (réservée aux argiles limoneuses de l'Abitibi); 2e les sols non immédiatement colonisables et, 3e les sols non colonisables, y compris les étendues d'eaux, de roc, de sable et de gravier secs colonisées par le pin gris (*Pinus*

Banksiana, Lamb) et d'autres essences. Comme nous l'expliquait de vive voix l'un des premiers professeurs de sols et de pédologie de la Faculté de Génie Forestier et de l'Ecole d'Arpentage de l'Université Laval, Louis Zéphirin Rousseau, il s'agissait là d'une classification pratique des "terres" et non des sols. De plus, l'on cartographiait les sols forestiers qui n'avaient jamais été déboisés: ce qui explique d'ailleurs que cet immense territoire boisé relevait du Ministère provincial des Terres et Forêts et que les relevés étaient effectués sous la direction d'ingénieurs forestiers comme chefs d'équipes. Afin d'être plus objectif et véridique avec l'histoire il serait intéressant de fouiller les écrits et la carrière de cet éminent professeur Rousseau et de son successeur le Dr Aurèle Richard afin de mieux connaître les travaux de l'époque en milieux forestiers. Nous ne pouvons passer sous silence M. Henri Nagant (1927), ce savant professeur à l'Institut Agricole d'Oka qui publia un article sur le premier congrès de la Société Internationale de la Science du Sol tenu à Washington en 1927. Dans cet article, l'on trouvera la présentation du système américain de Classification des sols par Curtis F. Marbut*, surnommé le père de la Pédologie aux Etats-Unis. Cet article donne le poulx de l'époque en matière de "concepts et d'idées" dans le domaine de la classification des sols.

3e - La période dite "expansionniste" en ce qui concerne les travaux au champ de classification et de cartographie des sols.

Cette période s'étend des années 1937 à 1960-1967. C'est la période au cours de laquelle la classification et la cartographie des sols s'affirment dans ses techniques aux champs et dans les analyses d'échantillons de sols en laboratoire. En 1939-1940 c'est la guerre... le Gouvernement du Québec charge le Ministère de l'Agriculture d'implanter le plus rapidement possible la culture de la betterave à sucre (il y a eu aussi celle du lin). Le premier directeur-gérant de la raffinerie de sucre de St-Hilaire, (M. Fox?) qui vient des Etats-Unis, insiste auprès de Monsieur André Auger, directeur du Service de la Grande Culture, pour que les équipes de pédologues entreprennent sans tarder la cartographie des sols de la Plaine de Montréal: ce qui a donné un second souffle de vie à la pédologie et à la cartographie des sols au Québec. Le Ministère de l'Agriculture du Québec publia les sept premières cartes pédologiques de comté accompagnées de légendes et de notices explicatives sur les sols de la Plaine de Montréal (1941-1944). On utilisa pour la première fois le système de classification des sols en "séries" d'après le système américain tel que présenté par *Baril (1943) à l'ACFAS. Plusieurs études et rapports pédologiques d'une certaine ampleur ont été publiés. Mentionnons les études pédologiques suivantes: Cann, Lajoie et Stobbe (1942) sur Stanstead, Richmond, Sherbrooke et Compton, accompagné d'une carte à l'échelle réduite de 1:126,720 contrairement aux autres cartes pédologiques qui seront publiées à l'échelle de 1:63,360: L. Choinière et L. Laplante (1948), sur le comté de Nicolet; Baril et Mailloux (1950) sur les sols du comté de Châteauguay, Mailloux et Godbout (1954) sur les sols des comtés de Huntingdon et de Beauharnois. Dans ce dernier rapport les auteurs consacrent plus de trente pages à l'étude des formations géologiques et géomorphologiques dans le développement des sols de la région.

*Baril, R. 1943. Cartographie des sols de la Plaine de Montréal d'après le système américain. Annales de l'ACFAS, vol. 9, p. 126.

Ils présentent les régions et les unités géopédologiques des comtés de Huntingdon et de Beauharnois: ce qui rejoint les pédo-paysages des pédologues américains et canadiens d'aujourd'hui. Il serait trop long à ce moment d'énumérer toutes les études pédologiques accompagnées de carte qui ont marqué cette période fébrile de travaux sur le terrain. Nous ne voulons en rien minimiser les efforts et les progrès remarquables des jeunes équipes de pédologues d'aujourd'hui qui continuent, colligent, précisent et coordonnent tout un ensemble de données pédologiques.

En scrutant les études pédologiques mentionnées précédemment on y découvre les concepts et les idées sur lesquels étaient appuyés le système de classification et le mode opérationnel utilisé. Il est évident que l'on se basait sur le système américain tel qu'élaboré par Marbut et relativement peu modifié par Kellogg, Smith, Thorp avant 1960. Ces derniers étaient tous des disciples inconditionnels de Marbut.

Le système américain présentait de réels anicroches au plan de la logique. A titre d'exemple, l'on sait aujourd'hui que les sols ayant des propriétés de différenciation semblables (ou diagnostiques d'un ordre de sol) ne doivent pas être séparés au niveau catégorique supérieur. Ainsi, avant 1960, les podzols bien drainés appartenaient aux sols zonaux tandis que les podzols à gley (les "ground-water podzols" des américains) appartenaient à la classe des sols intrazonaux (niveau de l'ordre). Depuis 1960, et il en sera question plus loin, ces deux classes de sols font partie du même ordre de sols: soit celui des spodosols des américains ou, si l'on veut, la classe des sols podzoliques des canadiens, toutes choses étant égales d'ailleurs.

Les notions empruntées des phytosociologues et des écologistes en ce qui concerne les équilibres dans la nature obnubilaient nos pensées à un point tel que la classification des sols dans les catégories supérieures se préoccupait plus des hypothèses d'évolution des sols (ce qui concordait assez souvent avec la végétation) que sur les propriétés réelles des sols eux-mêmes. Paradoxalement, les sols classifiés aux niveaux inférieurs: soit ceux de la série et du type, étaient basés beaucoup plus sur

des considérants génétiques en rapport avec les facteurs de genèse tels ceux du climat et de la végétation. Marbut avait raison de dire à ses pédologues "si vous voulez savoir quelque chose du sol, demandez-le lui" et il insistait constamment pour l'observation et la description complète des profils de sols au champ. Afin d'illustrer les idées d'ordre génétique qui animaient les pédologues québécois des années 1950 et environs nous vous référons à deux exemples puisés dans deux études pédologiques: la première, celle de Baril et Mailloux (1950), dans le comté de Châteauguay où l'on utilisait les termes de "sols zonaux", de quasi-climax, termes inspirés des travaux de Dansereau (de 1940 à 1944) sur l'érablière laurentienne. Les sols du comté de Châteauguay, voir le tableau 7, pages 40 et 41, sont classés sous la rubrique: "caractéristiques pédologiques des types génétiques des sols du comté de Châteauguay. La même méthode est utilisée dans l'étude pédologique du comté de Lotbinière par Baril et Rochefort (1957) où aux pages 19 et 20 de l'étude on subdivise les sols zonaux, intrazonaux et azonaux en rapport avec des types de végétation (qualifiés de climacique, quasi-climax etc.).

Cette dichotomie dans le choix des méthodes entre les catégories supérieures et les catégories inférieures faisait dire à un loustic que les pédologues au champ finissaient par mieux connaître les sols que les officiers supérieurs qui délaissaient le champ et jonglaient avec la place évolutive éventuelle que devaient occuper les sols aux catégories supérieures.

L'évolution des concepts en matière de classification des sols au Québec a été influencée aussi avec sa participation à toutes les réunions du Comité National de classification des sols devenu la commission canadienne des sols. L'étude des comptes rendus de toutes les réunions mériteraient plusieurs pages. Mentionnons qu'il y en a eu 10 soit: celles de 1945, 1948, 1955, 1960, 1963, 1965 et 1968, 1970, 1973 et 1976. Avant 1970-1973, la classification des sols et le choix des critères de classification ont été à toutes les réunions des sujets forts discutés. Pour de plus amples détails nous vous référons au chapitre traitant de l'historique de la classification des sols au Canada dans le manuel intitulé: Le système canadien de classification des sols, préparé par la Commission canadienne

de pédologie (1978) sous la direction de J.A. McKeague*. Ce dernier ne parle pas des discussions parfois vives que soulevait le choix du système de classification. En dépit de toutes ces réunions les représentants de toutes les provinces n'ont pas réussi à s'entendre (les pédologues de l'ouest versus les pédologues de l'est) pour l'adoption du système américain de classification des sols que maints pays ont adopté ou utilisent comme système de comparaison.

*Commission canadienne des sols, 1978. Le système canadien de classification des sols. Direction de la recherche, Ministère de l'Agriculture du Canada. Publication no. 1646. Préface de J.A. McKeague.

4e - Une période nouvelle et "révolutionnaire" dans le domaine de la classification taxonomique des sols.

Cette période s'étend des années 1960 à 1967-1968. Elle débute en 1960 avec la présentation au 7e Congrès International de la Science du sol par Guy D. Smith, pédologue principal, au nom de tous les collègues-pédologues américains *(Soil Survey Staff) qui depuis 10 ans travaillaient à façonner, voire à pétrir si l'on me permet l'expression, un système taxonomique de classification des sols qui a surpris et même étonné le monde scientifique ainsi que maints pédologues européens et américains qui n'avaient pas suivi les développements de ce système au cours de ses sept approximations successives. J'ai eu le privilège de recevoir les premières copies (draft) des différentes approximations de Guy D. Smith et Kellogg. Avec la collaboration de Bertrand Rochefort il nous a été possible d'apporter à l'occasion quelques observations et remarques.

L'implantation du système américain sur le vaste territoire des Etats-Unis n'a pas rencontré l'unanimité ou l'adhésion immédiate de tous les Etats à ce système. A la publication du système en 1960 on a ajouté des suppléments en 1964, 1967 et 1968 (Histosols). Le Canada n'a pas adopté le système américain de classification des sols devenu la Soil Taxonomy (1975) mais a grandement modifié son propre système de classification en y incorporant à chacune des réunions de la Commission canadienne de pédologie des "concepts" et des idées empruntés à la taxonomie américaine des sols.

Ajoutons que le système américain est, par sa conception et son mode opérationnel inspiré de *Bridgman (1927, 1941) un système auto-perfectible et auto-constructeur. Il est essentiellement basé sur une

*Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy, U.S.D.A. Handbook No. 436, Washington, D.C.U.S. Government Printing Office, 754. Voir aussi: Soil Management Support Services, 1983. Keys to Soil Taxonomy. Technical Monograph no. 6. Note: les catégories supérieures sont données.

*Bridgman, P.W. 1927. The logic of modern physics. Macmillan, New York. Voir aussi réédition 1941.

approche quantitative des propriétés morphologiques, physiques, chimiques et minéralogiques de tous les pédons ou de certaines parties, soit la surface ou le sous-sol selon le cas. A cause de son mode opérationnel nous croyons qu'il est "révolutionnaire" et qu'il n'y aura plus de nouveau système américain comme tel à moins qu'à l'avenir des faits nouveaux et extraordinaires, ce qui peut arriver, invitent les scientifiques américains à refaire la structure même du système. Depuis 1960, les pédologues québécois voire américains et canadiens ont grandement bénéficié des concepts nouveaux et de la philosophie de cette nouvelle taxonomie des sols. Le retard apporté par maints pays à adopter ce système a été, en partie, l'utilisation d'une nomenclature composée de termes parfois rébarbatifs dérivés du latin, du grec ou de mnémoniques. A titre d'exemple: les eutrochrepts typiques correspondant aux brunisols mélaniques orthiques des canadiens ou aux sols dérivés de till calcaire de la Plaine de Montréal: les sols Bruns forestiers des séries Laval et de St-Bernard (comtés de Laval et de Châteauguay).

Cette longue digression sur le système américain sort probablement des cadres de notre sujet mais elle a été faite délibérément parce que les concepts qui ont influencé les activités pédologiques au Québec depuis 1960 n'ont pas été étranges à l'implantation d'un nouveau système de classification chez nos voisins du Sud. Les relations Nord-Sud sont omniprésentes.

Cette période de 1960 à 1967-1968 et au-delà n'a pas connu que des soubresauts au plan des idées en matière de classification des sols. Ce fut aussi une période d'évaluation générale des sols du Canada, à l'instar de celle qui avait commencé plusieurs années auparavant aux Etats-Unis sous la direction de Kellogg et Klingebiel.

Par un acte de la législature du Gouvernement du Canada, sous l'Honorable Premier Ministre John Diefenbaker on créa A.R.D.A., un organisme qui était chargé d'inventorier, avec la collaboration de toutes les provinces, les ressources naturelles du sol, de la forêt et autres activités connexes. En ce qui concerne les sols, on utilisa un "système de classement" des sols basé sur leurs possibilités agricoles tel que défini et précisé dans la publication de la Commission canadienne de pédologie (1972)

et celle dite de l'Inventaire des Terres du Canada (1965)*. A la même époque *Mailloux, Dubé et Tardif (1970) proposèrent un autre système dit "québécois" de classement des sols selon leurs possibilités d'utilisation agricole. Plusieurs années plus tard *Tardif et Ouellet (1975) appliquèrent ce système de classement cartographique des sols selon leurs possibilités d'utilisation agricole au comté de Richmond. L'échelle utilisée dans Richmond était de 1:50 000ième. Ce système puisqu'il vise l'utilisation et l'aménagement immédiats des sols serait mieux approprié à un emploi sur des cartes à 1:20 000 ou à plus grande échelle telle celle utilisée dans la cartographie des sols de la Plaine de Montréal, en y apportant certaines modifications aux unités de relevés cartographiques.

Cette période d'évaluation des sols du Québec quoiqu'utile, provoqua un ralentissement dans la poursuite des travaux de cartographie des sols du Québec. Plusieurs régions ou comtés restent encore non inventoriés. Cet exercice d'évaluation des sols permet de faire la comparaison des différentes séries de sols à l'intérieur du Québec et avec celles des provinces limitrophes telles l'Ontario, le Nouveau Brunswick et par extension l'Etat de New York et les provinces maritimes qui possèdent des sols semblables à ceux du Québec.

L'application du système de l'Inventaire des Terres du Canada subira plusieurs modifications au Québec et en Ontario par la production

*Commission canadienne de pédologie, 1972. La classification canadienne des sols. Ministère de l'Agriculture du Canada pp. 255 à 270. Préface de W.A. Ehrlich. Tiré du rapport no. 2 (1965) de l'Inventaire des Terres du Canada.

*Mailloux, A., Dubé, A. et L. Tardif. (1970). Classement des sols selon leurs possibilités d'utilisation agricole. Publ. 27-332, Min. Agr. du Québec.

*Tardif, Lauréan, Ouellet, Luc, 1975. Classement cartographique des sols selon leurs possibilités d'utilisation agricole. Min. Agr. du Québec.

de thèses au Québec (F. Chénard, 1982; Abu Murshid, 1983 et Michel Nolin, thèse à venir) et en Ontario par Hoffman, Douglass et ses collègues de Guelph. *Nolin (1985) dans sa belle étude pédologique du comté de Chambly dont il sera question plus loin a utilisé une méthode de classement des Terres proposée par *Marshall, Dumanski, Huffman et Lajoie (1979). Ajoutons que tous ces "classements" des sols et des non-sols, y compris les terres modifiées par l'homme sont, à toutes fins utiles, comparables et l'on doit s'efforcer à l'avenir de recueillir des données de rendements des différentes plantes sous des systèmes ou aménagements de cultures différentes ou pratiquées de manières alternatives.

Au cours des années 1962 jusque vers 1975, il n'y avait plus d'équipes de pédologues du Ministère fédéral de l'agriculture qui oeuvraient au Québec. Grâce à la création de l'Institut de Recherches Pédologiques du Québec* en 1975, sous l'instigation de son premier président Gérard A. Bourbeau, Ph.D., professeur titulaire et directeur du Département des sols de l'Université Laval, d'autres équipes fédérales de pédologues ont été employées. De 1975 à 1984 les équipes ont occupé leurs locaux au Département des sols de l'Université Laval. Il est trop tôt pour faire le bilan des activités de cet Institut de recherche et le soin en est donné, si possible, à son président. Quoi qu'il en soit, mentionnons que les équipes fédérales de sols ont été fort actives, et ont débuté, pour la première fois au Québec, une cartographie détaillée des sols, à l'échelle de 1:20 000^e. Plusieurs cartes de sols préliminaires, de groupement de séries nouvelles, anciennes ou reformulées à cause de l'échelle détaillée utilisée, sont déjà prêtes pour publication. Quant aux

*Marshall, I.B., Dumanski, J., Huffman, E.C. et P.C. Lajoie (1979). Soils capability and land use in the Ottawa urban fringe, Land Resource Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario, 59 pages.

*Michel C. Nolin, 1985. Etude pédologique du comté de Chambly. Etude cartographique semi-détaillée, échelle 1:50 000^e. Voir classement en appendice no. 3, p. 105-117, avec tableaux. Carte des sols en pochette. Disponible en nombre limité: adresse: Le Complexe Scientifique, Ste-Foy.

*Voir les rapports d'activités de cet Institut et les rapports annuels de M. Tabi, Service des sols, MAPAQ, P. Qué.

équipes provinciales du Québec localisées depuis plusieurs années au Complexe Scientifique à Ste-Foy, elles ont continué la cartographie des sols du Québec à l'échelle de 1:50,000^e dans divers comtés de la région des Bois-Francs, de Charlevoix, de Portneuf et de l'Abitibi (reconnaissance) sans pouvoir ici, faute d'espace, donner toutes les activités de cet organisme. Nous vous référons pour de plus amples détails aux divers rapports annuels du directeur du Service des sols du MAPAQ, M. Marton Tabi. Au point de vue de la systématique en classification des sols et au plan des concepts, les équipes provinciales de pédologues utilisent et appliquent le concept des "séries de sols" tel que connu dans "Soil Taxonomy" américaine (1975). Certaines équipes ont apporté des modifications à la méthode cartographique de rapporter les résultats: ce que nous verrons plus loin.

De cette période nous ne pouvons passer sous silence l'implantation d'une nouvelle Faculté d'Agriculture sur le Campus de l'Université Laval en 1962. Pour la première fois, l'enseignement de la Science des Sols fut dispensé par plusieurs professeurs, soit au nombre de quatre pour les disciplines de l'édaphologie (science du sol en général), de la chimie et fertilité, de la physique du sol et de la morphologie, genèse et classification des sols. Ici encore, il faudrait consacrer plusieurs pages pour relater les progrès réalisés aux niveaux de l'enseignement et de la recherche au Département des sols. Plusieurs recherches et thèses de maîtrise et de doctorats avaient un lien direct ou indirect avec la morphologie et la classification des sols. Les directeurs successifs au département des sols furent MM. Lawrence J. O'Grady, G.A. Bourbeau, M.P. Cescas et le directeur actuel est Marc Laverdière. La visite de professeurs et de chercheurs éminents de France a été une source de grande inspiration au département des sols. Mentionnons un sujet connexe à la classification des sols, celui de la micromorphologie, le nom de Nicolas Fédoroff de l'Institut Agronomique de Paris-Grignon qui, en collaboration avec le professeur G.A. Bourbeau a initié des recherches Québec-France dans certains aspects de la micromorphologie des sols. Cette science et cette technique sont maintenant dispensées au département par Michel Caillier, élève et disciple de Duchaufour de Nancy, France. Dans l'immédiat soulignons aussi l'intérêt du département pour l'étude des sols tropicaux dont il sera question à ce colloque par le professeur Michel P. Cescas. Faute de temps

alloué ici les autres disciplines qui ont été développées par la suite au département des sols ne seront pas mentionnées. Il serait intéressant de faire l'historique et l'évolution du département des sols qui célébrera bientôt, soit en 1987, le vingt-cinquième anniversaire de son implantation sur le campus de l'Université Laval avec comme premiers professeurs: MM. Lawrence O'Grady, Gérard J. Ouellette, Sylvio Bourget et Roger Baril par ordre de nomination, en 1962, par M. le Recteur, devenu cardinal, Mgr Ls- Albert Vachon. Nous devons mentionner quoique brièvement, l'oeuvre et la contribution remarquables en cartographie des sols au Québec, du regretté écologiste et pédologue Michel Jurdant et de ses équipes. Ses premiers travaux au Lac St-Jean et dans le Parc des Laurentides ont attiré les remarques les plus élogieuses de maints professeurs européens dont M. Léon Mathieu de Gembloux avec qui j'ai eu le plaisir de m'entretenir à maintes reprises. Les travaux d'inventaire écologique selon la méthode de Jurdant mériteraient d'être étendus à tout le Québec agricole.

Nous voulons clore cette période sur une note qui me tient à coeur soit de mentionner la nomination de la première femme parmi les équipes de pédologues depuis 1982 ou 1983. Pour la postérité nous exigeons de ses collègues, la fabrication, en bronze ou en or, d'une plaque commémorative pour souligner l'événement.

5e - La période de l'utilisation des "transects" en cartographie des sols.

La période de l'utilisation des transects aléatoires et stratifiés en classification et en cartographie des sols nous est apparue comme le développement le plus spectaculaire des dernières années en pédologie aux Etats-Unis et au Canada. Elle s'étend des années 1977 à nos jours. Pour la première fois l'on peut quantifier d'une manière raisonnable la composition des unités de relevés cartographiques (mapping units) et aussi bien définir, avec un seuil de sécurité donné et d'une façon plus précise et plus pragmatique les classes de sols, (taxons ou unités taxonomiques) ainsi que les limites respectives à allouer dans les différentes classes de sols.

En réalité cette méthode a débuté aux Etats-Unis avec Johnson (1961) mais ne semble pas avoir été active avant Arnold (1977, 1979), Steers et Hajek (1979) et au Canada avec Wang (1980, 1981 et 1984). Cette méthode a été essayée au Québec par Wang, Cossette, Nolin et Baril à Ste-Victoire et St-Aimé dans le comté de Richelieu. Des essais à maintes reprises de cette méthode ont été faits par Simard et Baril (1981), Nolin, Cossette et Dubé (1981), Drolet (1982) et Baril (1981).

Jean-Yves Drolet (1982) dans son travail demeuré inédit est certes l'étudiant qui a le mieux exposé la méthode des transects pour la caractérisation de deux pédo-paysages dans le comté de Richelieu. Déjà on voit poindre à l'horizon le moment où les définitions du "concept central" (sorte de modèles statistiques) des unités cartographiques et taxonomiques seront définies par la méthode des transects avec l'aide de l'ordinateur: ce qui rencontre le mode opérationnel prévu ou qui se dégage des principes émis par *Cline (1949) (1963).

Cartographie des sols et les Associations de sols.

Mentionnons la démarche "nouvelle" en cartographie des sols par Rochefort (1981) qui utilise dans le levé de la carte des sols du comté de Témiscouata, à l'échelle de 1:50 000^e, des associations de séries de sols comme unités de relevés cartographiques (mapping units). De plus, Rochefort explique en page 19 de son étude le mode opérationnel qu'il emploie et nous citons: "toutes les délinéations de la carte des sols qui sont identifiées par un même symbole numérique d'unité de relevé représentent des associations semblables, dont les sols forment des pédo-paysages distinctifs et reconnaissables à certaines particularités du mode d'agencement et de la distribution proportionnelle de ces sols". fin de la citation. De plus, Rochefort a traité de l'utilisation et de l'aménagement des sols dans son étude à partir des associations de séries de

*Cline, M.G. 1949. Basic principles of soil classification. Soil Science, vol. 67, p. 81-91.

*Cline, M.G. 1963. Logic of the new system of soil classification. Soil Science vol. 96, p. 17-22.

sols ou pédo-paysages. D'une certaine manière, cette dernière approche de Rochefort rejoint celle utilisée une fois par Baril et Mailloux (1950) qui ont publié, en pochette, dans l'étude des sols du comté de Châteauguay, une carte, à l'échelle approximative de 1:80,000^e, dont les unités de la légende sont des associations de séries de sols, de sols organiques et de non-sols. Cette carte dite des "associations de séries de sols" ou pédo-paysages avait été faite en vue de la confection future carte agronomique du Québec. Cette dernière carte, à l'époque, devait aider les agronomes à mieux comprendre et à mieux utiliser la carte des sols auprès des cultivateurs.

L'utilisation de la méthode des "transects" dans le levé d'une carte pédologique.

Enfin, mentionnons l'utilisation de la méthode des transects par *Nolin (1985) dans le levé de la carte des sols du comté de Chambly à l'échelle de 1:50,000^e. Le point de vue innovateur de cette carte est que l'auteur ait pu déterminer ainsi avec une certaine précision et rapidité, la composition des différentes unités cartographiques. Celles-ci, d'après Nolin, portent le nom d'association lorsqu'elles correspondent à deux ou plusieurs séries, types de sol compris, selon un patron de distribution géographique prévisible et répétitif. A cause de l'échelle restreinte de 1:50,000^{ième} les unités composantes de l'association pourraient être séparées individuellement dans une étude détaillée de 1/20,000^{ième}. Cette association a la même connotation que celle des américains et constituent des sortes de "pédo-paysages". Nolin utilise par ailleurs, le terme d'unité cartographique pour désigner sur sa carte pédologique les portions de paysages ayant des attributs variant entre des limites bien définies. Une unité cartographique comprend toutes les délimitations contenant exactement le même symbole cartographique.

Une partie du texte qui précède a été tiré de Nolin et peut paraître hautement technique. Afin de mieux saisir le mode opérationnel

*Nolin, M.C., 1985. Etude pédologique du Comté de Chambly. (Etude semi-détaillée à l'échelle de 1/50,000^{ième}). Equipe pédologique fédérale. Agriculture Canada. Complexe scientifique, Sainte-Foy, P. Q.

qu'il a utilisé pour réaliser la carte des sols de Chambly citons Nolin, au 3e paragraphe de la page 2: "Cette étude (parlant de la revue de la littérature a été suivie d'une première inspection au champ, au centre des unités cartographiques, à proximité des voies d'accès, afin de décrire des profils représentatifs de chacune des strates (échantillonnage fortuit). Puis trente-trois transects aléatoires ont été sélectionnés suivant les principes émis par *Wang (1982) afin de couvrir toute la variation des descripteurs pédologiques de ces sols et de préciser les limites des unités cartographiques (échantillonnage stratifié par transects). Quelque six cents expositions ont ainsi fait l'objet d'une description complète de la couche de surface (horizon A ou O), du sous-sol (horizon B) et du substratum (Horizon C, IIC, etc.). Enfin, quinze (15) pédoncs représentatifs ont été échantillonnés pour les analyses chimiques et granulométriques". fin de la citation.

A notre humble point de vue l'approche de Nolin dans le levé d'une carte pédologique semi-détaillée (échelle 1/50,000ième) pour le comté de Chambly nous paraît comme un modèle en son genre et pourrait mériter une certaine reconnaissance de l'ACFAS.

*Nolin aurait pu ajouter après Wang (1982): inspiré par les travaux antérieurs de Johnson (1961) et surtout d'Arnold (1977, 1979), de Steers et Hajek (1979) qui étaient à l'Université Cornell jadis.

Littérature additionnelle.

- Arnold, R.W. 1977. CBA...ABC... A clean brush approach for achieving better concepts. Proceedings of New York Conference on soil mapping quality, Bergame East, New York.
- Arnold, R.W., 1979. Map units test models, Agronomy Dept., Cornell University, unnumbered mimeo.
- Arnold, R.W..., 1979. Stratéfies for field resource inventories. Agronomy mimeo 79-20, Department of Agronomy, Cornell University, Ithaca, New York, 14853.
- Baril, R.W., 1981. Rapport du représentant du Québec sur le comité d'experts sur la prospection pédologique, 3e réunion annuelle du comité. J.H. Day, éditeur. Institut de recherche sur les terres, Ottawa, pp 164-167.
- Bigler, R.J., and K.J. Liudahl, 1984. Estimating Map Unit Composition. Dans Soil Survey Horizons, vol. 25, no. 2, summer, p. 21-25.
- Drolet, Jean-Yves, 1982. Utilisation de transects aléatoires stratifiés pour la caractérisation pédologique de deux pédo-paysages dans le comté de Richelieu. Projet: initiation à la recherche, sous la direction du professeur R.W. Baril, assisté de M.C. Nolin, d'Agriculture Canada et étudiant gradué. Travail non publié mais présenté au 50e congrès de l'A.C.F.A.S.
- Johnson, W.M., 1961. Transect methods for determination of the composition of soil mapping units. Soil Conservation Service, Soil Survey Field Letter, p. 9-11, illus.
- Nolin, M.C., J.M. Cossette et J.C. Dubé. 1981. Levée de reconnaissance des sols du comté de Richelieu: une approche systématique fondée sur le pédo-paysage. Annales de l'A.C.F.A.S., 48: 108.

- Scott, Auguste, 1968. Les sols. Nature, propriétés, améliorations. LIBRAIRIE BEAUCHEMIN LIMITEE. 372 pages.
- Simard, R. et R.W. Baril, 1981. Application de la méthode d'échantillonnage stratifié par transects à la cartographie des sols. Annales de l'A.C.F.A.S., vol. 48. p. 108.
- Steers, C.A. and B.J. Hajek, 1979. Determination of map unit composition by a random selection of transects. Soil Sci. Soc. Am. J. 43, pp. 156-160.
- Wang, C., 1980. Transect mapping and its application. Land Resource Research Institute, pp. 1-10, Ottawa.
- Wang, C., 1981. Apply transect method to soil survey, June 1981. Land Resource Research Institute, Ottawa, First draft.
- Wang, C., 1984. La méthode du transect et son application aux problèmes de la prospection pédologique. Direction générale de la recherche, Institut de recherche sur les terres, Agriculture Canada, Contribution no. 82-02, (4F). Edition française.

SOLS ORGANIQUES. HISTORIQUE DE LA RECHERCHE

Léon E. Parent
Département des Sol
Université Laval
Québec, G1K 7P4

et

Lucie Grenon
Institut de recherches pédologiques du Québec
Complexe Scientifique
2700 rue Einstein
Ste-Foy, P.Q. G1P 3W8

Les sols organiques sont des sols constitués de plus de 30% de matières organiques sur une épaisseur variant de 10 à 60 cm suivant la nature du sous-sol minéral, la composition botanique du dépôt et le degré de décomposition des matières organiques. Ces sols se sont développés dans des conditions d'humidité et de température favorables à l'accumulation des débris végétaux. Le processus d'accumulation de ces débris est appelé paludification. Les débris végétaux, lorsqu'ils sont reconnaissables, sont classés en débris ligneux, herbacés et de sphagnes. Les propriétés chimiques, physiques et biologiques de ces matériaux sont influencées principalement par leur degré de décomposition et secondairement par leur origine botanique. Il n'est pas surprenant de constater qu'à cause de leur contenu élevé en débris végétaux, les sols organiques furent exploités pendant des siècles comme source de combustible d'abord, puis comme litière. L'utilisation des sols organiques touche aujourd'hui à de nombreux aspects de l'exploitation industrielle, commerciale et agricole de la "tourbe". Chacun de ces aspects nécessite un historique particulier. C'est pourquoi le présent historique ne relate que les faits associés au développement de la recherche en sols organiques pour fins de production agricole in situ.

Avant 1850

Le premier usage des sols organiques fut l'extraction de la tourbe combustible comme source alternative au bois chez les peuples germaniques du nord de l'Europe. Déjà au Moyen-Age, les hollandais connaissaient l'importance du drainage des tourbières, la distinction entre les tourbes litières blondes et peu décomposées et les tourbes combustibles foncées et bien décomposées, ainsi que les techniques d'extraction et de distribution de la tourbe (Göttlich 1976). Au 16^e siècle, la colonisation agricole par la Fehnkultur consistait à excaver à la pelle de la tourbe combustible et à remblayer à l'aide de tourbe superficielle peu décomposée et de débris de la végétation. Sur ces débris organiques, 10-12 cm de sable étaient appliqués puis mélangés à la tourbe et aux composts urbains rapportés de la ville par les barges qui y transportaient la tourbe combustible. Les conditions de succès de la Fehnkultur étaient une quantité suffisante de tourbe combustible dans le dépôt, un sous-sol sableux, des canaux de transport et un accès facile aux agglomérations urbaines. En 1658, Schoock publia le premier manuscrit voué exclusivement aux sols organiques et y fit la promotion de l'intégration de la tourbe à l'économie nationale.

Cependant, le 18^e siècle marqua le déclin de la tourbe combustible face à la concurrence grandissante du bois de chauffage. Les conditions misérables des habitants des tourbières les poussa à la colonisation agricole. Jürgen Christian Findorf (1720-1793) dirigea un projet de mise en valeur agricole de 80 000 ha de tourbières oligotrophes près de Brême en ne s'appuyant que sur la fumure organique. Les nombreux échecs rencontrés poussèrent les colons à brûler systématiquement les tourbières et à cultiver le sous-sol minéral. Ce fut l'époque dévastatrice de la "Moorbrandkultur" (culture sur brûlis de tourbière) qui fut pratiquée jusqu'au début du 20^e siècle. La rotation adoptée fut de 2 ans de sarrasin suivi de cultures d'avoine ou de pommes de terre, puis de seigle pendant 5 à 8 ans. Alors le sol épuisé était laissé en jachère pendant 30 à 35 ans et devenait un maigre pâturage d'éricacées pour les brebis des landes et les abeilles. Dans certains cas, ce fut l'échec total: sous-sol minéral défavorable, inondations fréquentes à la suite

de la perte d'élévation du dépôt, formation de sols salins par accumulation de cendres. Des dizaines de milliers d'hectares de tourbière furent ainsi brûlés en Europe.

De 1850 à 1930: établissement des principes de régie culturale

Un scandale public éclata lorsque la fumée des feux de tourbière incommoda fortement les habitants de nombreux villages même au-delà des frontières allemandes. Une association opposée au pillage des tourbières par le feu fut fondée par le géographe Petermann (1822-1878). En 1862, le seigneur Rimpau, pour qui la Fehnkultur hollandaise était inapplicable en terre allemande, proposa d'appliquer environ 11 cm de tourbe minérotrophe sur la végétation originelle de la tourbière et de couvrir cette tourbe de 10-12 cm de sable grossier légèrement loameux sans mélanger le sable et la tourbe. La tourbe et le sable étaient prélevés dans des fossés espacés de 20-25 m. Cette expérience fut un grand succès local, et fut aussi à l'origine de la première ferme expérimentale sur sol organique, fondée à Brême en 1877 (Alway 1920). C'est sur cette ferme que furent développés les concepts modernes d'exploitation agricole des tourbières en fonction de la composition botanique de la tourbe, de son degré de décomposition et de la nature du sous-sol minéral (Göttlich 1976).

Les succès de la station de Brême furent liés en partie aux succès de Boussingault en France et de Gilbert et Lawes à la ferme expérimentale de Rothamstedt. Les récents principes de nutrition minérale des plantes développés par de Saussure et Liebig furent appliqués à la fertilisation des prairies et des céréales à l'aide d'engrais minéraux N-P-K, d'amendements calcaires et de fumier de ferme. On distingua pour la première fois, la régie des sols organiques de la régie des sols minéraux. Une distinction additionnelle fut établie entre cultures sur tourbière minérotrophe ou terre noire requérant peu ou pas d'azote et d'amendement calcaire, et cultures sur tourbière oligotrophe exigeantes en azote et en amendements calcaires. De nombreuses expériences parallèles furent menées ailleurs en Europe et en Amérique (Alway 1920).

Jusqu'aux années 1920, les échecs culturaux en sols organiques

étaient attribués à un drainage insuffisant ou excessif. A cette époque, 11 des 16 éléments essentiels à la croissance végétale étaient connus: C, O, H, N, S, Fe, Mn, Mg, Ca, P et K. Il est possible que les engrais utilisés contenaient des quantités non négligeables des autres éléments alors non reconnus comme essentiels (B, Cu, Zn, Mo, Cl). Cependant, on observa aux USA que le maïs cultivé sur sol organique produisait très souvent de bons rendements pendant 2 ou 3 ans mais, par la suite, ne produisait presque plus malgré l'apport d'engrais N, P, K et d'autres éléments essentiels. Ce ne fut qu'en 1927 que les américains Anderson et Félix découvrirent la cause de ce qu'ils appelèrent la maladie du défrichement, c'est-à-dire la carence en cuivre. Dorénavant, les productions agricoles en sols organiques pouvaient se diversifier vers les productions exigeantes en oligo-éléments.

1930-1960 : accélération de l'expérimentation agronomique

Déjà depuis 1918 s'amorçait un lent mouvement de colonisation des marécages de la région montréalaise. Après 1945, le mouvement s'est intensifié et a culminé vers 1952-1953. Près du quart des colons venaient d'Europe. Les autres venaient surtout des villages environnants, de l'Ile de Montréal et de l'Ile Jésus. Un témoin de l'époque rapporte le changement majeur qu'a subi cette région encore sauvage: "Quand je suis arrivé, en 1947, il y avait tellement de canards que, le matin, ça faisait comme un nuage quand ils passaient devant le soleil... L'année suivante, le gouvernement a fait creuser la rivière et, depuis ce temps, nous ne récoltons plus des canards mais de beaux légumes". (Lépine 1972).

En 1934, le ministère provincial de l'agriculture, le service fédéral des fermes expérimentales et le collège Macdonald entreprirent une vaste enquête sur 20 000 ha de sols organiques (McKibbin et Stobbe 1936). Les cultures les plus importantes étaient alors la pomme de terre dans les bassins du sud (St-Edouard, St-Isidore, St-Philippe, Napierville), le céleri sur l'Ile de Montréal (St-Léonard-de-Port-Maurice) et des légumes divers (laitue, oignon, carotte, céleri, épinard, betterave) sur les dépôts organiques de St-Hubert et de l'Ile Jésus. Des surfaces considérables de sols organiques étaient consacrées à de maigres prairies

et pâturages. La régie des cultures était généralement déficiente. Les meilleurs sols, comportant plus de 1.2 m d'épaisseur de tourbe herbacée ou ligneuse, de moyennement à bien décomposée, et contenant de 8 à 20% de cendres et plus de 1.5% d'azote, n'étaient pas exploités à leur juste valeur. Parmi les mauvaises pratiques culturales rapportées se trouvaient le brûlage du sol organique, le surchaulage, l'utilisation abusive du fumier de ferme et d'engrais minéraux débalancés, surtout en azote, le contrôle inefficace des ravageurs, des maladies et des mauvaises herbes, l'ignorance des profils hydriques et des techniques récentes de drainage et d'irrigation, l'utilisation d'équipements non appropriés, les façons culturales inadéquates et l'emploi de cultivars peu adaptés. Comme le bassin de Sherrington-Ste-Clotilde offrait les meilleures possibilités de développement dans la région, un site représentatif fut choisi dans ce bassin pour l'établissement d'une ferme expérimentale modèle sur la saine régie des cultures en sols organiques.

Le premier directeur de la ferme expérimentale de Ste-Clotilde fut F.S. Browne qui y dirigea les opérations de 1936 à 1956. A la même époque, P.M. Harmer était renommé comme spécialiste des sols organiques au Michigan State University. Actif de 1921 à 1953, le Dr. Harmer publia en 1941 un important bulletin technique sur les productions maraîchères. Un bulletin sur la gestion des sols organiques allemands fut publié 6 ans plus tard par Husemann. Browne fut sans doute influencé par l'avancement exceptionnel des recherches au Michigan. En 1951, Browne publia les résultats de ses recherches (Browne 1951 a, b). Une attention particulière fut portée à la gestion du bilan hydrique du sol par l'irrigation et le contrôle de la nappe d'eau. La fertilisation des cultures fut étudiée à partir de 1937 sur 132 parcelles soumises à 19 traitements. L'ordre de priorité des éléments majeurs était $K > P > N$. L'apport de N ne servait qu'au démarrage des plantules en attendant que la nitrification libère les réserves du sol en N. Le fumier ne fut pas aussi efficace que les engrais minéraux complets, mais il fut recommandé pour activer la décomposition des sols nouvellement défrichés. La formule 2-8-16 semblait convenir à la plupart des légumes, sauf à l'oignon, qui nécessitait du 2-12-10. Les quantités appliquées variaient de 1 à 1.5 t/ha, et jusqu'à

2 t/ha pour la pomme de terre. Plusieurs légumes ont réagi positivement aux applications de B, de Cu et de Mn, tandis que Zn, Fe et NaCl n'eurent aucun effet. L'apport de soufre et de sulfates fit diminuer les rendements. Des expériences furent également menées sur la performance des cultivars de légumes et sur l'efficacité des pesticides face aux nombreux ravageurs et à l'envahissement phénoménal des mauvaises herbes dans les cultures maraîchères.

Le successeur de Browne fut J.J. Jasmin, jusqu'en 1962, année où la ferme expérimentale fut annexée à la station de recherches de St-Jean. Jasmin initia des recherches sur la mise en valeur de nombreux dépôts organiques à potentiel agricole élevé (Jasmin 1961; Jasmin et Heeney 1962). Il étudia les modes d'application de la chaux et la fertilisation des cultures sur des terres nouvellement défrichées. Sur sol acide, des applications de chaux atteignant 20 t/ha étaient fractionnées à raison de 1/3 avant le labour de 35-40 cm de profondeur et de 2/3 sur la surface labourée afin de produire une couche arable profonde et de pH convenable aux cultures maraîchères. La fertilisation montait à 110-165 kg N/ha, 220 kg P_2O_5 /ha et 330 kg K_2O /ha pendant les 2 à 3 premières années après le défrichement. Par la suite, l'apport annuel de N diminuait à 55 kg/ha. L'engrais utilisé dosait 5-10-15. Le niveau d'application variait de 1 à 2.2 t/ha. Jasmin étudia également l'efficacité de nouveaux pesticides.

La période 1930-1960 fut sans doute l'âge d'or de la recherche agronomique sur les sols organiques. Davis et Lucas (1959) résumèrent l'essentiel de ces recherches dans leur désormais célèbre bulletin technique sur la classification et la gestion des sols organiques. La gestion de l'eau fut mise à l'avant-plan. De nombreux rapports indiquaient que l'affaissement des sols organiques était directement lié à la hauteur de la nappe d'eau. Une tige graduée enfoncée en 1848 à travers la tourbière minérotrophe Holme Fen en Angleterre indiquait en 1913, une perte d'élévation du sol de 3.1 m et, en 1951, de 3.5 m: des 5.5 m d'épaisseur de tourbe originelle, il n'en restait alors que 2 m. En Floride, suite à des pratiques similaires, la perte d'élévation

se situait à 1.8 m entre 1914 et 1943. L'affaissement des sols organiques, après le drainage, fut attribué à un changement dans les propriétés physiques, dû à la consolidation et à la déshydratation de la tourbe, et un changement dans les propriétés chimiques et biologiques causant l'oxydation, le fractionnement et l'humification des matières organiques. Les changements exposaient le sol à l'érosion. Pour diminuer l'ampleur et la vitesse de ces transformations, le maintien d'une nappe d'eau à 60 à 75 cm fut recommandé. Ces transformations furent discutées du point de vue pédogénétique par Kubiéna (1953) dans son livre sur la classification des sols européens.

De 1960 à nos jours: période de modélisation et d'analyse systématique

Cette période est caractérisée par l'intégration des sols organiques aux systèmes nord-américains de classification des sols, par l'évaluation de l'affaissement, par la modélisation de la fertilité et par l'analyse systémique appliquée aux cultures maraîchères.

A la suite de Kubiéna (1953), Pons (1960) schématisa les processus pédogénétiques agissant sur les sols organiques nouvellement drainés. Farnham et Finney (1965) ont analysé les schémas de classification alors disponibles et ont proposé un schéma d'intégration des sols organiques à la classification américaine des sols. En 1965, comité national canadien a adopté un système développé en collaboration avec le service américain de conservation des sols (Ehrlich 1965). Le système fut amendé en 1972 et 1978. Par la suite, quelques travaux de recherches ont été consacrées à la classification (Lévesque et Dinel 1982) et à la pédogénèse (Parent et al. 1983) en sols organiques.

L'évolution des sols organiques après drainage fut étudiée sous les angles de la mécanique des sols et de la biochimie. Il était évident que l'affaissement rapide des sols organiques durant les 3-4 premières années, suivant le drainage était dû principalement à la consolidation du sol (MacFarlane 1969). Le taux d'affaissement est d'abord rapide, puis tend à se stabiliser de façon exponentielle (Eggelsmann 1978). A long terme, l'affaissement des sols organiques serait attri-

buable à l'oxydation et à l'érosion du sol de surface. Comme l'oxydation des matières organiques est causée d'abord par les enzymes produites par les micro-organismes du sol, l'addition d'un inhibiteur d'enzymes comme le cuivre fut proposée pour diminuer le taux d'oxydation des sols organiques (Mathur et Sanderson 1980). Jusqu'à quel point l'apport de 200 à 400 ppm de Cu peut réduire l'affaissement par oxydation enzymatique, ceci est encore inconnu, d'autant plus que la contribution de l'oxydation à l'affaissement n'a pas été déterminée pour les conditions nordiques de l'Est du Canada. Chose certaine, toutefois, les sols organiques de la ferme expérimentale de Ste-Clotilde se sont affaissés de près de 78 cm entre 1936 et 1974 (Milette 1976). Entre 1974 et 1978, sur les mêmes sols, l'érosion a emporté jusqu'à 4 cm/an de sol de surface, tandis que les zones protégées de l'érosion se sont affaissées à un taux moyen de 1 cm/an (Parent et al. 1982). Le taux d'affaissement des sols organiques peut donc être ralenti par des mesures anti-érosives et par l'application de produits inhibiteurs d'enzymes.

Depuis Browne et Jasmin, la fertilisation des sols organiques portait sur des doses d'engrais non calibrées sur la fertilité naturelle ou acquise du sol. C'est pourquoi, les recommandations d'engrais basées sur les modèles calibrés du Michigan et des régions limitrophes du Québec prenaient de l'importance. Un vaste programme de calibration des sols organiques fut donc entrepris par H.A. Hamilton et A.F. MacKenzie durant les années 1970, afin d'établir un système de diagnostics et de recommandations adapté au Québec. Les doses de N furent augmentées pour toutes les cultures par rapport aux recommandations de Browne (1951 b), à cause probablement des cultivars plus performants qu'autrefois (voir Tableau 1). Cependant les problèmes de fertilisation demeurent encore aigus, puisque la surfertilisation et l'irrégularité des approvisionnements en eau continuent de causer des désordres physiologiques dans de nombreuses cultures. Un guide complet de régie des cultures maraîchères a été publié par Lucas en 1982. La technologie des engrais liquides polyphosphatés a été appliquée aux sols organiques (Parent et MacKenzie 1985). Des méthodes d'analyse de fertilité des sols organiques ont également été développées récemment (Van Lierop 1981; Van Lierop et Tran 1983).

Tableau 1. Doses de N, P_2O_5 et K_2O à appliquer en sols organiques selon Browne (1951b) et le CPVQ (1982).

Culture	Browne (1951b)			CPVQ (1982)		
	N	P_2O_5	K_2O kg/ha	N	P_2O_5	K_2O
carotte	11-18	44-70	88-140	35	40-100	150-300
céleri	26-40	106-158	210-317	110	40-100	135-350
laitue	13-22	53-88	106-176	70	40-100	80-250
oignon	22-33	132-198	110-165	80	40-100	100-200

D'importants efforts de recherche ont été consacrés à la lutte contre les ennemis des cultures et aux interactions sols organiques-pesticides. Ces efforts se sont traduits en modèles de lutte intégrée, compte tenu des niveaux de population des ravageurs et des mauvaises herbes ainsi que des réactions sols-pesticides. Certains de ces modèles ont été appliqués avec succès à l'échelle régionale.

La convergence des recherches en classification, pédogénèse, affaïssement, fertilisation et lutte intégrée, sera l'outil privilégié de conservation et d'utilisation rationnelle des sols organiques. Ces sols offrent un potentiel agricole remarquable sur une période de temps relativement courte. La zone habitée du Québec est couverte de 460 000 ha de sols organiques. Une fraction de cette ressource est disponible pour l'agriculture. Malgré la somme des connaissances acquises depuis 40 ans sur la régie des sols organiques, la régionalisation des modèles d'affaïssement et de fertilisation demeure insuffisante. La classification des sols organiques et le contrôle des nappes d'eau dans les dépôts organiques sont des paramètres essentiels au développement de ces modèles. La survie de l'horticulture dans de nombreux villages dépend de l'énergie qui sera déployée pour cultiver adroitement les sols organiques, ces "enfants de l'eau" (poète allemand, 190s.).

Références

- ALWAY, F.J. 1920. Agricultural value and reclamation of Minnesota peat soils. Univ. Minn. Agric. Exp. Sta. Bull. 188, 136 p.
- BROWNE, F.S. 1951a. Progress report 1936-48. Exp. Substa. Ste-Clotilde, Canada Dpt. Agric., 19 p.
- BROWNE, F.S. 1951b. Organic soil management for vegetables. Exp. Farms Serv., Canada Dpt. Agric. Publ. 853, 36 p.
- C.P.V.Q. 1982. Legumes. Culture. Agdex 250/20, Agric. Québec, 79 p.
- DAVIS, J.F. & R.E. LUCAS. 1959. Organic soils. Their formation, distribution, utilization and management, Michigan State Univ. Bull. 425, 156 p.
- EGGELSMANN, R. 1978. Subsurface drainage instructions. Bull. #6, ICDI, Verlag Paul Parey, Hamburg, 283 p.
- EHRLICH, W.A. 1965. Report on the classification of organic soils. p. 68-75. In: Rep. 6th Meet. Nat. Soil Surv. Comm. Canada, Laval Univ., Québec.
- FARNHAM, R.S. & H.R. FINNEY. 1965. Classification and properties of organic soils. Adv. Agron. 17: 115-162.
- GOTTLICH, Kh. 1978. Moor-und Torf kunde. E. Scheizerb. Verlag (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 269 p.
- HARMER, P.M. 1941. The mucks of Michigan, their management and uses. Michigan Agric. Exp. Sta. Bull. 314.
- HUSEMANN, C. 1947. Die landwirtschaftliche Bewertung der Moorböden und ihre natürliche Grundlagen. Metta Kinäu Verlag, Lüneburg.
- JASMIN, J.J. 1961. Rapport d'activité de la division de l'horticulture, 1954-1958. Section J. Sous-station Hort. Sols Org. Ste-Clotilde, Agric. Canada, 15 p.
- JASMIN, J.J. & H.B. HEENEY. 1962. Assainissement des tourbières à calotte acide. Agric. Canada Publ. 1089, 18 p.
- KUBIENA, W.L. 1953. The soils of Europe. T. Murphy Co., London
- LEPINE, Y. 1972. Intégration d'une communauté rurale de la banlieue mairichère de Montréal à la société urbaine post-industrielle. Thèse Maîtrise es Arts, Dép. Géographie, Univ. Montréal, 143 p.

- LEVESQUE, M.P. & H. DINEL. 1982. Some morphological and chemical aspects of peats applied to the characterization of Histosols. *Soil Sci.* 133: 324-332.
- LUCAS, R.E. 1982. Organic soils (Histosols). Formation, distribution, physical and chemical properties and chemical properties and management for crop production. Res. Rep. 435, Michigan State Univ., 77 p.
- MACFARLANE, I.C. (ed.). 1969. Muskeg engineering handbook. Univ. Toronto Press, 297 p.
- MATHUR, S.P. & R.B. SANDERSON. 1980. The partial inactivation of degradative soil enzymes by residual fertilizer copper in Histosols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 750-755.
- MCKIBBIN, R.R. & P.C. STOBBE. 1936. Organic soils of southwestern Quebec. 10 Rep. Québ. Soil Surv. Comm., Publ. 499 Canada Dpt. Agric. 74 p.
- MILLETTE, J.A. 1976. Subsidence of an organic soil in southwestern Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 56: 499-500.
- PARENT, L.E. & A.F. MACKENZIE. 1985. Pyrophosphate hydrolysis in organic soils. *Can. J. Soil Sci.* (sous presse).
- PARENT, L.E., J.A. MILLETTE & G.R. MEHUYS. 1982. Subsidence and erosion of a Histosol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 404-408.
- PARENT, L.E., F.J. PAUZE & G.A. BOURBEAU. 1983. Morphologie d'un Mésisol fibrique sous forêt décidue. *Naturaliste Can.* 110: 435-446.
- PONS, L.J. 1960. Soil genesis and classification of reclaimed peat soils in connection with initial soil formation. 7th Int. Congr. *Soil Sci.* (Madison): 205-211.
- SCHOOCK, M. 1658. *Tractatus de turffis, seu cespitibus bituminosis.* Typis Johannis Cölln, Groningae.
- VAN LIEROP, W. 1981. Laboratory determination of field bulk density for improving fertilizer recommendations of organic soils. *Can. J. Soil Sci.* 61: 475-482.
- VAN LIEROP, W. et T.S. TRAN. 1983. Détermination du besoin en chaux des sols minéraux et organiques par la méthode tampon SMP. MAPAQ-CPVQ, Science et Technique no. 36, Agdex 534, 3 p.

CLASSIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES SOLS ORGANIQUES

Lucie Grenon ¹

et

Léon-E Parent ²

INTRODUCTION

Les sols organiques couvrent près de 2 millions d'hectares au Québec méridional, i.e. environ 4% du territoire. Une bonne partie de ces sols a été inventoriée dans la zone habitée du Québec (environ 460,000 hectares représentant 5% du territoire). Ces sols organiques offrent un potentiel et une ressource en sol très intéressants pour l'agriculture, surtout que les meilleurs sols minéraux sont pour la majeure partie déjà utilisés. Dans les régions où le climat et la proximité du marché sont moins propices à l'agriculture, les sols organiques possèdent un potentiel reconnu pour l'industrie de la tourbe et l'énergie. Toutes ces utilisations nécessitent une bonne connaissance du milieu tourbeux et des sols qui l'occupent, afin d'en faire le meilleur aménagement possible. Pourtant, la cartographie, la classification et la description des sols organiques ont souvent été négligées au profit des sols minéraux par les chercheurs en sols et les pédologues du Québec.

AVANT LA PUBLICATION OFFICIELLE DE LA PREMIERE CLASSIFICATION DES SOLS ORGANIQUES (avant 1972).

"Au Québec, la classification taxonomique des sols organiques par les spécialistes de l'agriculture s'est surtout appuyée, jusqu'à ces dernières années du moins, sur le rapport de McKibbin et Stobbe, publié en 1936 et relatif aux sols organiques du sud-ouest du Québec". (Auguste Mailloux, 1971. Avant-propos du cahier-guide de la tournée nationale des sols organiques de l'est du Canada. Section de la province de Québec). Ainsi, la plupart des sols organiques étaient classifiés par les pédologues selon les termes: terre noire bien décomposée,

terre noire moyennement décomposée, tourbe grossière, terre noire brûlée, marais et marécages.

Durant ces années, le Département des Mines du Canada et le Ministère des Mines du Québec ont fait des inventaires de tourbières en vue de l'industrie de la tourbe. Mentionnons les travaux de Anrep de 1919 à 1926 et ceux de Girard en 1944-1947-1948. Des études chimiques sur les tourbières ont été réalisées de 1950 à 1955 par Risi, Brunette, Spence et Girard. Au début des années '50, plusieurs études écologiques sur les tourbières sont venues s'ajouter. Potzger et Courtemanche (1953, 1954, 1955, 1956) ont fait des travaux sur la formation, l'âge et la végétation de quelques tourbières du Québec. Danseureau et Segadas-Vianna (1952, 1959) ont décrit plusieurs groupements végétaux des tourbières ainsi que Grandtner et Gauthier (1960, 1965) au cours de leurs relevés phytosociologiques dans les tourbières.

Par la suite, un comité des tourbières a été formé en 1961 à la Faculté d'Agriculture regroupant des intervenants de la Division des Sols au Ministère de l'Agriculture, de la Division des tourbières du Ministère des Richesses Naturelles et de la Faculté d'Agriculture. Ce comité a fourni un bref aperçu sur la tourbe et les tourbières et proposé une réglementation provinciale pour le commerce de la tourbe sous ses différentes formes.

En 1965, la première classification des sols organiques a été présentée par W.A. Ehrlick à la sixième réunion du Comité National de la Classification des Sols (CNCS) qui eut lieu à l'Université Laval, Québec. Ce système de classification a été développé en collaboration avec le personnel du Service de Conservation des Sols des Etats-Unis. Peu de temps après, en 1966, un sous-comité des sols organiques est formé au Québec par le comité exécutif de l'Inventaire Canadien des Terres (ITC). Ce sous-comité recommande la formation d'un groupe de travail qui aurait pour mandat principal de faire une classification systématique, l'inventaire et la cartographie des sols organiques. Ces relevés devraient être pédologiques et écologiques. Ce groupe de travail n'a

jamais été formé.

A la réunion du CNCS en 1968, les définitions de l'ordre, des grands-groupes et des sous-groupes de sols organiques sont adoptées (Day, 1968). C'est cette classification, quelque peu modifiée à la réunion de la Commission Canadienne de Pédologie (CCP) en 1970, qui a été publiée officiellement pour la première fois en 1972 dans la classification canadienne des sols (C.C.P., 1972). C'est aussi en 1970 qu'un système de classement des aptitudes des sols organiques pour l'agriculture est proposé par Hoffman.

En 1971, le comité national de la classification des sols organiques organisent une tournée nationale des sols organiques de l'est du Canada, afin de faire le point sur la morphologie et la genèse des sols organiques et de tester la classification proposée. La section de la province de Québec est préparée par Rolland Marcoux. Pour les 12 sites visités, une classification des sols organiques est proposée.

Déjà, lors de la publication de la classification canadienne des sols en 1972, le président de la Commission Canadienne de Pédologie disait qu'il faudrait faire des ajouts à la classification des sols organiques.

APRES LA PUBLICATION DE LA PREMIERE CLASSIFICATION CANADIENNE DES SOLS ORGANIQUES (APRES 1972).

D'autres changements à la classification des sols organiques sont survenus aux réunions suivantes de la C.C.P. en 1973 et 1976 pour en venir à la classification actuelle des sols organiques publiée dans le Système canadien de classification des sols (C.C.P., 1978). Les éléments principaux de l'ordre organique sont que les sols appartenant à cet ordre se composent surtout de matériaux organiques (30% de matière organique) répondant à certains critères d'épaisseur. Ils sont aussi saturés d'eau pour une durée prolongée. La division des grands-groupes est basée sur le degré de décomposition dans l'étage intermédiaire.

Les sous-groupes se séparent sur le genre et la séquence des horizons. Les familles sont divisées sur les caractéristiques de l'étage supérieur, la réaction dans la coupe-témoin, le pédoclimat, la granulométrie de la couche terrique, les matériaux limniques, la profondeur du contact lithique. Enfin, les séries se distinguent selon plusieurs propriétés comme le matériau parental, l'origine botanique des fibres, la densité apparente, etc.

Depuis l'adoption de la classification taxonomique des sols organiques, moins de travaux ont été faits sur la genèse et la classification de ces sols. L'accent ayant plutôt été mis sur le développement de systèmes de cartographie et d'interprétation servant à définir la nature, la distribution et les aptitudes des sols organiques. Ainsi, un Groupe de Travail sur les Terres Humides a été formé par Environnement Canada en 1976. Ce groupe a développé le Registre des Terres Humides du Canada. Par la suite, conjointement avec l'Institut de Recherches sur les Terres d'Agriculture Canada, plusieurs réunions ont été organisées sur la cartographie et l'interprétation des sols organiques (1980, 1981) et sur les méthodes d'inventaire des tourbières (1983).

Quand même, certains travaux de recherche ont été faits à l'Institut de Recherches sur les Terres par Lévesque (1977, 1978, 1981), McKeague (1982) et Fox (1981) en vue d'améliorer la classification des sols et les descriptions des tourbes et des matériaux tourbeux selon leurs propriétés chimiques, physiques, macromorphologiques et micro-morphologiques. Parent (1977) a développé pour sa part l'aspect micro-morphologique des tourbes. Des analyses polliniques ont aussi été faites par Pierre Richard sur certaines tourbes du Québec (1977).

En ce qui concerne les inventaires du Québec, le ministère de l'Energie et des Ressources a recueilli depuis 1970 des informations sur les tourbières du sud du Québec en vue de leur utilisation pour l'industrie de la tourbe de mousses (Simard, 1977 et Chateauvert, 1980). Depuis quelques années, ce ministère, en collaboration avec l'Hydro-Québec, participe à la recherche et au développement de nouveaux produits à

partir de la ressource tourbe. L'Hydro-Québec (1983), pour planifier l'usage de la tourbe du point de vue énergétique, a entrepris un travail d'investigation des tourbières du Québec méridional. Des études écologiques se poursuivent toujours, principalement dans les tourbières et les terres humides des régions plus nordiques: les tourbières de la Baie James (Zarnovican et Bélair, 1979), l'étude des tourbières du parc des Laurentides (Gauthier, 1980), les tourbières du sud de la Jamésie (Grondin et Ouzilleau, 1980).

Environnement Canada, par le biais de son programme sur les changements d'utilisation des terres, a permis la cartographie des milieux humides de la région de Montréal (Champagne et Melançon, 1984). L'équipe pédologique fédérale du Québec a mené un projet en collaboration avec l'Institut de Recherche sur les Terres à Ottawa en vue de caractériser les différents types de tourbières et matériaux tourbeux dans la plaine du St-Laurent et de développer une méthode d'inventaire des tourbières en vue de les cartographier (Grenon, 1985).

PERSPECTIVES D'AVENIR

Des travaux seront entrepris en vue de préciser les caractéristiques spécifiques des divers matériaux tourbeux. En ce qui concerne les relevés pédologiques sur sols organiques, l'accent devra être mis sur la cartographie détaillée et semi-détaillée. Celle-ci permettra alors de développer des unités cartographiques spécifiques aux fins d'interprétation agronomique ou autres, particulièrement dans la plaine du St-Laurent.

¹ Institut de recherches pédologiques du Québec, Complexe Scientifique, 2700, rue Einstein, Ste-Foy, P. Q. G1P 3W8

² Département des sols, Université Laval, Québec, P. Q. G1K 7P4

BIBLIOGRAPHIE

Anrep, A., 1914. Investigation of the Peat Bogs and Peat Industry of Canada 1911-12. Departement des Mines, Ottawa.

Anrep, A., 1919. Investigation of certain peat bogs in Ontario and Quebec. Geol. Survey of Canada, Dept. of Mines. Summary report, part E.

Anrep, A., 1920. Investigation of peat bogs in Ontario and Quebec. Geol. Survey of Can. Dept. of Mines, Summary Report, part D.

Anrep, A., 1922. Investigation of peat bogs in Quebec. Geol. Survey of Can., Dept. of Mines, Summary Report, part D.

Anrep, A., 1926. Investigation of peat bogs in Quebec. Geol. Survey of Can., Dept. of Mines, Summary Report, part C.

Canada Soil Survey Committee, 1974. Proceedings of an organic soil mapping workshop. Manitoba, Edité par J.H. Day, Agriculture Canada, Ottawa.

Chateauvert, J.-Y. et L. Avratchev, . 1980. Inventaire des tourbières du Québec au 1^{er} janvier 1979 (dépôts de 250,000 tonnes et plus). Ministère de l'Energie et des Ressources, Direction du potentiel minéral, Québec. DPV-718, 8 pages.

Comité des tourbières, 1961. Bref aperçu sur la tourbe et les tourbières. Faculté d'Agriculture. (Rapport non publié).

Commission Canadienne de Pédologie, 1972. Classification canadienne des sols. Ministère de l'Agriculture du Canada, Ottawa, Canada.

Commission Canadienne de Pédologie, 1978. Le système canadien de classification des sols. Direction de la recherche, Agriculture Canada.

Dansereau, P. and F. Segadas-Vianna, 1952. Ecological study of the peat bogs of Eastern North America. Structure and evolution of vegetation. Can. J. Bot., 30: 490-520.

Dansereau, P., 1959. Phytogeographia Laurentiana II. The principal plant associations of the Saint-Lawrence Valley, cont. Inst. Bot. Univ. Montreal, no. 75.

Day, J.H., 1968. Report of the subcommittee on the classification of organic soils. Proceedings of the Seventh Meeting of the National Soil Survey Committee of Canada, University of Alberta, Edmonton, p. 77-95.

Day, J.H., 1970. Report of the subcommittee on organic soils. Proceedings of the Eight Meeting of the Canada Soil Survey Committee, Central Experimental Farm, Ottawa, p. 119-122.

- Ehrlich, W.A., 1965. Report on the classification of organic soils. Report on the Sixth Meeting of the National Soil Survey Committee of Canada, Laval University, Québec, p. 68-75.
- Fox, Catherine A., 1984. Characteristics of the Folisolic Soils of British Columbia. Working group on Soil Classification, Guelph, Ontario. (non-publié).
- Gauthier, Robert et Miroslav M. Grandtner, 1975. Etude phytosociologique des tourbières du Bas St-Laurent, Québec. *Naturaliste Can.* 102: 109-153.
- Gauthier, R., 1980. La végétation des tourbières et les sphaignes du parc des Laurentides, Québec. Laboratoire d'écologie forestière, Univ. Laval, Québec. *Etudes Ecologiques* no. 3, 634 p.
- Girard, H., 1944. Peat industry in the province of Quebec. *Can. Mining Journal* 65: 283-293.
- Girard, H., 1947. La tourbe dans Québec; son origine, sa répartition et son emploi. *Min. Mines, Québec, Rapport géol.* 31.
- Girard, H., 1948. Quebec's peat moss industry. *Can. Mining Journal* 69: 197-198.
- Grandtner, Miroslav M., 1960. La forêt de Beauséjour: Etude phytosociologique, Fonds Rech. For. Univ. Laval, Contr. no. 7.
- Grandtner, M.M. et R. Gauthier, 1965. Une association nouvelle, le Sphagno-Pinetum banksanae. *Ann. ACFAS*, 32:55.
- Grenon, Lucie, 1985. Les Tourbières de la plaine du Saint-Laurent. Equipe pédologique fédérale, Agriculture Canada, Ste-Foy, Rapport non-publié.
- Grondin, P. et J. Ouzilleau, 1980. Les tourbières du sud de la Jamésie, Québec. *Geogr. Phys. Quart.*, 1980. vol. IIIIV, no. 3, 267-299.
- Groupe de travail des terres humides, 1979. Compte-rendu d'un atelier sur les terres humides du Canada. Série de la classification écologique du territoire, No. 12, Environnement Canada, Saskatchewan, 90 p.
- Hoffman, D.W., 1970. Organic Soil Capability System for Agriculture, Proceedings of the Eight Meeting of the Canada Soil Survey Committee, Central Experimental Farm, Ottawa. p. 158-165.
- Hydro-Québec, 1983. Inventaire des tourbières du Québec Méridional, Rapport de synthèse. Direction ingénierie des centrales.
- Land Resource Research Institute, 1980. Proceedings of a workshop on organic soil mapping and interpretation in Newfoundland. Edité par C. Tarnocai, Agriculture Canada, Ottawa.

Land Resource Research Institute, 1982. Proceedings of the organic soils mapping and interpretations workshop in New Brunswick. Edité par H.W. Rees, Fredericton, New Brunswick.

Land Resource Research Institute, Newfoundland Forest Research Center, 1982. Proceedings of a Peatland Inventory Methodology Workshop. Edité par S.M. Morgan and F.C. Pollett, Agriculture Canada, Environnement Canada, Ottawa.

Lévesque, M. et H. Diné, 1977. Fiber content, particle size distribution and some related properties of four peat materials in Eastern Canada. *Can. J. Soil Sci.* 57: 187-195.

Lévesque, M. et J.A. Millette, 1977. Description morphologique et aspects chimiques de la tourbière à laïches de Farnham, Québec. *Nat. Can. (Québec)* 104: 511-526.

Lévesque, M., P. Richard et H. Diné, 1978. Analyse pollinique et micromorphologique de deux tourbes du sud-ouest du Québec. *Can. J. Soil Sci.* 58: 525-528.

Lévesque, M., H. Morita, M. Schnitzer et S.P. Mathur, 1981. Les propriétés physiques, chimiques et morphologiques de quelques tourbes du Québec et de l'Ontario. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, Ottawa.

Marcoux, Rolland, 1971. Tournée nationale des sols organiques de Toronto à Halifax. Section de la province de Québec. Cahier-guide, Min. de l'Agr. et de la Col., Qué.

McKeague, J.A. and P.C. Stobbe, 1978. History of Soil Survey in Canada, 1914-1975. Soil Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa.

McKeague, J.A., 1982. Macromorphology of organic soils. Rapport interim non publié.

McKibbin, R.R. and P.C. Stobbe, 1936. Organic soils of southwestern Quebec. Publication 499. Ministère de l'Agriculture, Ottawa, 74 p.

Parent, L.E., 1977. Aspects micromorphologiques de deux histosols du Québec méridional. Québec, Université Laval, thèse de maîtrise.

Potzger, J.E. 1953. Nineteen bogs from Southern Quebec. *Can. J. Bot.* 31 (4): 383-401.

Potzger, J.E. and A. Courtemanche, 1954. A radiocarbon dating of peat from James Bay in Quebec. *Science* 119: 908-909.

Potzger, J.E. and A. Courtemanche, 1955. Permafrost and some characteristics of bogs and vegetation of northern Quebec. *Rev. Can. Geogr.* 9: 109-114.

Potzger, J.E. and A. Courtemanche, 1956. A series of bogs across Quebec from St. Lawrence valley to James Bay. *Can. J. Bot.* 34 (4): 473-500.

Richard, Pierre, 1977. Histoire post-wisconsinienne de la végétation du Québec méridional par l'analyse pollinique, tome I. Ministère des Terres et Forêts du Québec, Direction générale des Forêts, Service de la Recherche.

Risi, J., C.E. Brunette, D. Spence et H. Girard, 1950. Etude chimique des tourbes du Québec: I. Tourbière "Clair" comté de Bellechasse. Min. Mines, Serv. Lab. Québec, R.P. no. 234.

Risi, J., C.E. Brunette, D. Spence et H. Girard, 1953. Etude chimique des tourbes du Québec: II. Tourbière du Lac-à-la-Tortue, comté de Laviolette, Min. Mines, Serv. Lab. Qué. R.P. 281.

Risi, J., C.E. Brunette et H. Girard, 1954. Etude chimique des tourbes du Québec: VI. Tourbière "Small Tea Field", comté de Huntingdon, VII. Tourbière "Large Tea Field", comté de Huntingdon. Min. Mines, Serv. Lab. Québec. R.P. 301.

Risi, J., C.E. Brunette et H. Girard, 1955. Etude chimique des tourbières du Québec. VIII. Tourbière de l'Assomption, comté de l'Assomption, IX. Tourbière de Holton, comté de Chateauguy, X. Tourbière de Napierville, comté Napierville, Min. Mines. Serv. Québec, R.P. 306.

Risi, J., C.E. Brunette, R. Cloutier et H. Girard, 1950. Etude chimique des tourbes du Québec. XI. Tourbière de St-Hyacinthe, comté de St-Hyacinthe et de Bagot, XII. Tourbière de St-Blaise, comté de St-Jean. Min. Mines. Serv. Lab. Québec, R.P. 350.

Risi, J., C.E. Brunette, H. Spence et H. Girard, 1950. Etude chimique des tourbières du Québec. Min. Mines, Québec, R.P. 234.

Sous-comité des sols organiques, 1966. Compte-rendu de la réunion du 28 mars, Québec.

Simard, A., 1977. Inventaire des tourbières du comté d'Arthabaska. Ministère des Richesses Naturelles, Québec DP-520, 37 p.

Simard, A., 1977. Inventaire des tourbières du comté de Bagot. Ministère des Richesses Naturelles. Québec DP-521, 15 p.

Simard, A., 1977. Inventaire des tourbières du comté de Drummond. Ministère des Richesses Naturelles. Québec DP-526, 19 p.

Simard, A., 1977. Inventaire de la tourbière Farnham Nord. Comté d'Iberville. Ministère des Richesses Naturelles, Québec DP-528, 6 p.

Simard, A., 1977. Inventaire de la tourbière Ste-Anastasie, Comté de Mégantic. Ministère des Richesses Naturelles, Québec DP-529, 6 p.

Simard, A., 1977. Inventaire des tourbières du comté de Missisquoi. Ministère des Richesses Naturelles, Québec DP-530, 30 p.

Simard, A., 1977. Inventaire des tourbières du comté de Nicolet. Ministère des Richesses Naturelles, Québec DP-531, 46 p.

Simard, A., 1977. Inventaire des tourbières du comté de Shefford. Ministère des Richesses Naturelles, Québec DP-534, 30 p.

Simard, A., 1978. Tourbière Villeroy. Comté de Lotbinière. Ministère des Richesses Naturelles, Québec DP-547, 35 p.

Simard, A., 1978. Tourbière Mer Bleue. Comté Lotbinière. Ministère des Richesses Naturelles, Québec DP-549, 25 p.

Zarnovican, R. et J.L. Belair, 1979. Les tourbières de la Baie James: la végétation et les sols. Environnement Canada, Service Canadien des forêts et Direction régionale des terres. Série de la classification écologique du territoire, numéro 9, 37 p.

Champagne, Johanne et Michel Melançon, 1984. Milieux humides de la région de Montréal 1966-1981. Environnement Canada, Direction générale des terres région de Québec.

ETUDE DES SOLS
DES REGIONS NORDIQUES DU QUEBEC

Serge Payette
Directeur

Centre d'Etudes Nordiques
Cité Universitaire
Ste-Foy, QC - G1K 7P4

(Texte non disponible)

ETUDE DES SOLS FORESTIERS

C. Camiré

Département des sciences forestières
Faculté de foresterie et de géodésie
Université Laval, Québec
GLK 7P4

Avant-propos	
Résumé	
1. Introduction	
1.1 Les pionniers	
1.2 Le sol forestier	
2. Le sol comme corps naturel	
2.1 Génèse, caractérisation et classification	
2.2 Cartographie	
2.3 La télédétection	
3. Le sol comme milieu de croissance	
3.1 Nutrition des arbres	
3.2 Interventions et fertilité des sols.....	
3.3 Polluants atmosphériques et fertilité des sols	
3.4 Cycle des éléments dans les écosystèmes.....	
3.5 Station-croissance.....	
4. Le sol comme milieu vivant	
5. Le sol comme réservoir hydrologique	
6. Conclusion	
Bibliographie	

Avant-propos

Le présent travail se veut un aperçu de la recherche effectuée dans le domaine des sols forestiers au Québec et ne doit pas être considéré comme une revue bibliographique exhaustive du sujet. Les recherches sur les sols organiques et sur les sols de pépinières n'ont pas été couvertes, pas plus que les travaux portant sur les organismes symbiotiques (ecto- et endomycorhizes et actinorhizes) et les organismes pathogènes qui se retrouvent dans les sols forestiers. Les travaux écologiques n'ont été couverts que très sommairement, seuls les grands programmes ayant été abordés. Le lecteur notera aussi que la démarcation entre le milieu édaphique (études sur les sol) et la plante (études physiologiques) n'est pas toujours évidente. Il en est de même entre le sol forestier et le sol agricole.

RESUME

Quatre modèles d'étude ont été retenus dans le présent travail: 1) le sol comme corps naturel; 2) le sol comme milieu de croissance pour les espèces forestières; 3) le sol comme milieu vivant et 4) le sol comme réservoir hydrologique. Les recherches sur le premier modèle n'ont jamais été privilégiées au Québec. Toutefois, de grands inventaires écologiques ont été entrepris au début des années 70, travaux qui ont apporté des connaissances sur les sols forestiers. Le deuxième modèle est certainement celui où les travaux furent les plus nombreux. Les relations sol-station-nutrition-croissance ont été abordées par plusieurs chercheurs et demeurent une voie de recherche importante. Toutefois, trop peu de travaux ont porté sur les sols des forêts.

feuillues. Le troisième modèle touche les aspects de la pédofaune et des microorganismes, où des études intéressantes furent effectuées. Le quatrième modèle ne fait l'objet d'études que depuis quelques années et peu de chercheurs sont impliqués.

1. INTRODUCTION

1.1 Les pionniers

Aurèle Richard fut le premier forestier québécois à obtenir un doctorat en pédologie en 1943. La première présentation à l'ACFAS sur une "Etude pédologique des types forestiers sur la rivière Montmorency" date de 1946 et fut faite par André Lafond suite à un travail dirigé par Aurèle Richard. En 1951, André Lafond déposait à l'Université du Wisconsin sa thèse de doctorat sur les formes d'humus forestiers. En 1956, Bernard Bernier revenait d'Oxford après y avoir complété sa thèse de doctorat sur les polysaccharides des humus forestiers. Ces trois spécialistes ont formé le noyau de base pour l'enseignement et la recherche dans le domaine des sols forestiers au Québec. Ces professeurs ont dirigé plusieurs étudiants gradués au 2e et 3e cycle.

En plus de l'enseignement sur les sciences du sol (pédologie forestière, minéralogie, géologie et géomorphologie) pendant plus de 30 ans à la Faculté de foresterie de l'Université Laval, le professeur Richard a oeuvré pendant une dizaine d'années au Ministère de la colonisation comme aviseur technique pour la classification des terres. Le professeur Lafond a d'abord étudié les propriétés des humus forestiers (Lafond, 1949 et 1951) pour ensuite consacrer des efforts aux aspects nutritionnels (Lafond, 1956). La plus grande partie de sa carrière fut toutefois consa-

crée à l'écologie forestière où les sols ont occupé une place importante (e.g. Lafond, 1960). Le professeur Bernier a oeuvré dans le domaine de la nutrition depuis sa venue à l'Université Laval en 1956. Il est présentement engagé dans un projet de recherche sur la nutrition des forêts et le cycle des éléments en relation avec le phénomène de dépérissement de l'érablière des Appalaches. Aussi, il est responsable du cours Biologie et fertilité des sols forestiers.

1.2 Le sol forestier

Il est difficile d'en arriver à un concept unique sur ce qu'est un sol forestier. Cette difficulté résulte de la très grande variation des communautés et des sols forestiers et du nombre important de disciplines impliquées dans l'étude des sols. La géologie, la géomorphologie, la chimie, la physique, les mathématiques et les différentes sciences biologiques ne peuvent décrire seules ce qu'est un sol forestier ou comment il fonctionne dans le milieu naturel. Toutefois, chacune de ces sciences est requise pour l'étude.

Pour couvrir le domaine, nous utiliserons quatre modèles. Ces modèles ne sont pas exclusifs mais simplement des façons différentes d'examiner des faits, des lois et des hypothèses au sujet des propriétés du sol et des relations sol-végétation (Stone, 1975). Le premier modèle traite le sol comme corps naturel. Les travaux reliés à la genèse, la classification et la cartographie y seront présentés. Le deuxième modèle traite le sol comme un milieu de croissance pour les espèces forestières.

Les travaux reliés aux relations sols-station-nutrition-croissance y sont discutés. Le troisième modèle traite le sol comme un milieu vivant. Les travaux reliés à la microbiologie, la biologie et l'écologie du sol sont revus. Le quatrième modèle traite le sol comme réservoir hydrologique.

2. LE SOL COMME CORPS NATUREL

Ce premier modèle a comme champ d'intérêt le sol lui-même comme entité complète dans un environnement géographique. Le sol a une distribution et une morphologie définissables qui résultent d'un ensemble de processus agissant dans le temps. La végétation et ses produits jouent un rôle essentiel dans le développement du sol et en retour, sont influencés par celui-ci. Le sol est étroitement lié au paysage et à l'évolution du paysage. Il peut être cartographié à différentes échelles.

2.1 Génèse, caractérisation et classification

Les premières études de génèse et de caractérisation des sols et des humus forestiers ont été conduites par les professeurs Richard (1943), Lafond (1949 et 1951) et Bernier (1956 et 1958). Durant les années 60, le professeur Bernier a conduit et dirigé des travaux reliés à la la caractérisation des sols et des humus forestiers (Barrette, 1969; Bernier & Carrier, 1968; Carrier, 1963). La méthode d'extraction du fer et de l'aluminium utilisée actuellement pour la caractérisation des horizons spodiques est très proche de celle publiée par Bernier et Carrier (1968). Des chercheurs d'Environnement Canada ont aussi étudié le fer et l'aluminium et la matière organique des horizons spodiques (Gonzalez & Hubert, 1972; Hubert & Gonzalez, 1970).

Au niveau de la classification, Bernier (1968) a proposé une taxonomie des humus forestiers qui est largement utilisée aujourd'hui. L'approche multidimensionnelle pour la classification des sols (Bergeron *et al.*, 1982) nous apparaît un outil très prometteur mais nettement sous utilisé aujourd'hui malgré l'accessibilité à l'ordinateur.

Plus récemment, la variabilité des sols a été étudiée par Brown du Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec (MER) (Brown, 1977 et 1979; Brown & Gangloff, 1980). Pagé du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) a abordé l'étude des phénomènes d'induration dans les sols (Pagé *et al.*, 1980). Des études sont également en cours sur les phénomènes d'induration à l'Université de Sherbrooke (Dubois, 1985).

Bien que déplorable, il est peu probable que des efforts plus substantiels de recherche sur les sols forestiers soient faits dans ce domaine au Québec. Toutefois, les études présentement effectuées sur les sols agricoles (e.g. Pagé & Berrier, 1983) apportent des informations de base pour les sols forestiers étant donné l'origine des sols présentement sous culture.

2.2 Cartographie

Si l'on fait exception des sols cartographiés par les organismes gouvernementaux responsables de la cartographie des territoires agricoles (présentement le MAPAQ et l'Institut de Recherche en Pédologie du Québec (IRPQ)), les travaux cartographiques d'envergure n'ont débuté que dans les années 60 avec la loi sur

l'Aménagement Rural et Développement Agricole (ARDA). Des rapports et des cartes à l'échelle 1:250 000 montrant la possibilité d'utilisation des sols pour la forêt ont été publiés pour la partie dite rurale du Québec dans le cadre du programme d'inventaire des terres du Canada. Aussi des cartes à l'échelle 1:50 000 représentant les classes de drainage et les dépôts de surface regroupés selon leur texture ont été publiées de 1968 à 1971 par le Service de la recherche du Ministère des Terres et Forêts. Une carte des régions écologiques au 1:1 250 000 devrait être publiée en 1985 par le MER, résultat d'une synthèse des différents travaux effectués jusqu'à présent au Québec.

Le Service des études écologiques régionales (SEER) d'Environnement Canada a réalisé deux inventaires écologiques régionaux: la région du Saguenay - Lac Saint-Jean (Jurdant *et al.*, 1972) et le Territoire de la Baie James. Ces travaux ont mené à la publication de la méthodologie (Jurdant *et al.*, 1977). Depuis 1978, ce groupe poursuit ses activités au sein de Ministère de l'environnement du Québec (MENVIQ). L'inventaire et la cartographie écologique de la Moyenne et Basse Côte Nord a été réalisé (Ducruc, 1985; Ducruc & Gérardin, 1983). Au total, ces trois inventaires représentent une superficie de plus de 800 000 km².

Après une subdivision supérieure bioclimatique (les régions écologiques), la cartographie écologique propose un découpage du paysage basé sur des caractéristiques physiques (géologie, relief, dépôts de surface, drainage) qui lui confère un caractère

permanent. Selon les critères retenus, les besoins exprimés et le niveau de perception du milieu, ce découpage peut s'exprimer à diverses échelles cartographiques. Ainsi, dans les projets mentionnés ci-dessus, deux niveaux ont été privilégiés: un niveau général (les districts écologiques, Jurdant & Ducruc (1980)) exprimé à petite échelle (1:500 000) et un niveau plus détaillé (le système écologique, Ducruc & Bérubé (1980)), exprimé à moyenne échelle (1:125 000). Le système écologique constitue l'unité cartographique de base de ces projets. Cette unité décrit le pourcentage d'occupation des constituants élémentaires que sont les combinaisons dépôt (origine, épaisseur, texture et pierrosité) - drainage. Ces combinaisons, qualifiées de type géomorphologique, constituent la base de toute la classification des caractères édaphiques du territoire. Le type géomorphologique ne diffère de la série de sol que parce que la qualification du sous-groupe de sol ne rentre pas en ligne de compte dans sa définition.

Dans des projets plus récents mais toujours selon les mêmes concepts, à savoir une cartographie découpant le territoire en unités géographiques stables et permanentes et une classification caractérisant les combinaisons élémentaires dépôts-drainage de ces unités, le territoire de nombreuses municipalités régionales de Comté (MRC) a été cartographié au 1:50 000: Desjardins et Robert-Cliche (Veillette & Ducruc, 1985), Papineau, Bellechasse, Rimouski-Neigette (Chenard *et al.*, 1985), Témiscouata, Kamouraska et Vallée-de-l'Or. Également, et ce pour des préoccupations strictement forestières, Gérardin *et al.* (1984) ont cartographié

l'unité de gestion forestière des Chic-Chocs au 1:50 000.

Les réserves écologiques ont aussi été cartographiées selon les mêmes concepts mais à une échelle plus détaillée surtout au niveau de l'expression cartographique pour laquelle le type géomorphologique constitue l'unité de référence. Ainsi, les réserves écologiques de Tantaré et des Laurentides ont été cartographiées au 1:5 000, celle du Micocoulier au 1:1 000 (Gérardin *et al.*, 1985) et celle de Rivière-du-Moulin au 1:500.

Les travaux menés par Pineau de l'Université Laval (Bélanger & Pineau 1983; Bélanger *et al.*, 1983) dans la région périurbaine de Québec répondent également aux mêmes principes de même que ceux de Cauboue du CEGEP de Ste-Foy, circonscrit aux boisés urbains de la Communauté urbaine de Québec. Le Centre de Recherches Ecologiques de Montréal (CREM) poursuit des travaux dans la MRC du Haut-Saint-Laurent (Bouchard *et al.*, 1985). Ce groupe a également conduit des recherches en Abitibi (Bergeron *et al.*, 1983).

Bien que d'une utilité certaine, l'échelle de certaines cartes pose des problèmes d'utilisation, particulièrement dans un contexte d'aménagement intensif. Les travaux effectués en Ontario avec les peupliers hybrides montrent la nécessité d'avoir des cartes au 1:2 000 afin d'obtenir la meilleure combinaison clone-station (Evers *et al.*, 1984). A notre avis, la cartographie des sols forestiers devra être intensifiée avec l'augmentation de l'intensité d'aménagement. La ressource sol devra être connue spatialement en détail afin de pouvoir pres-

créer des interventions sylvicoles appropriées et le cas échéant, de pouvoir introduire l'espèce ou le génotype le plus approprié. Aussi les techniques de récolte devraient tenir compte du milieu édaphique et floristique afin d'en maintenir la qualité. Cette année le MER, dans le cadre d'une entente avec le MENVIQ, démarre un projet de cartographie écologique du Québec forestier. L'échelle privilégiée semble être le 1:20 000 mais des territoires seront cartographiés au 1:50 000. Les zones désignées d'aménagement intensif seraient cartographiées prioritairement.

2.3 La télédétection

La photographie aérienne est un outil clef dans les travaux d'inventaire et de cartographie des sols. Contrairement aux sols agricoles qui sont mis à nu périodiquement par le prélèvement des récoltes, le territoire forestier est ordinairement couvert par une strate arborescente, limitant ainsi la vue directe du sol par voie aérienne. Cela n'empêche toutefois pas l'utilisation de la photographie aérienne pour l'interprétation des dépôts de surface et l'évaluation du drainage du sol. La végétation naturelle est souvent utilisée au cours de la photo-interprétation.

Des travaux récents montrent la possibilité d'utiliser les images satellites pour l'identification des dépôts de surface (Perras *et al.*, 1985). Les mêmes contraintes que celles observées avec la photo aérienne sont rencontrées avec les images satellites. Ce sont les ondes radars qui offrent la plus grande opportunité dans le domaine des sols. Le lancement de RADARSAT prévu à la fin de la présente décennie est susceptible d'apporter un nouveau souffle dans ce domaine de recherche. Toutefois,

l'utilisation des images satellites pour l'étude et la connaissance de la ressource sol ne semble pas aussi prometteuse en foresterie qu'en agriculture. Le Centre d'Application et de Recherche en Télédétection (CARTEL) dirigé par le professeur Bonn de l'Université de Sherbrooke est déjà bien engagé dans l'utilisation des images satellites à des fins de cartographie. Ce groupe de recherche jouit déjà d'une solide réputation.

3. LE SOL COMME MILIEU DE CROISSANCE

Il s'agit d'un domaine d'activité où l'apport des chercheurs québécois est majeur. Les revues présentées par Lafond (1962), Bernier (1966), Swan (1970), Bernier et Swan (1970) et Swan (1974) témoignent de l'importance accordée à la nutrition des arbres. Des travaux ont également été conduits sur les relations station-croissance (e.g. Meyer, 1965).

3.1 Nutrition des arbres

En 1956, le professeur Lafond de l'Université Laval démontrait des carences en potassium et magnésium dans des plantations de pin rouge sur sols sableux abandonnés de l'agriculture (Lafond, 1956). Ces observations et l'arrivée du professeur Bernier à l'Université Laval en 1956 devaient ouvrir la porte à un vaste projet sur la nutrition des espèces forestières.

Les problèmes de minéralisation-immobilisation de l'azote dans les différents humus ont été étudiés (Bernier & Pineau, 1964; Bernier & Roberge, 1962). La faible disponibilité de l'azote dans les humus bruts est apparue comme le principal problème nutritionnel pour les espèces de la forêt boréale.

Un programme de recherche en fertilisation a par la suite été entrepris en forêt de sapin baumier et en forêt de pin gris. Ces projets et ceux entrepris ailleurs au Canada ont abouti en 1968 au Programme interprovincial de recherche en fertilisation forestière. Des résultats intéressants ont été obtenus pour les peuplements de pin gris avec des augmentations quinquennales de croissance atteignant $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Les résultats obtenus avec l'épinette noire furent moins prononcés que ceux obtenus avec le pin gris. Certains peuplements de sapin baumier répondent bien à l'addition d'azote (Krause *et al.*, 1982).

Deux essais opérationnels de fertilisation forestière ont été conduits, l'un sur la sapinière dans le parc des Laurentides (Roberge & Gagnon, 1974) et l'autre sur la pinède grise en Mauricie (Sheedy, 1977). Des études de nutrition sont également conduites dans le cadre du programme en populiculture de Vallée du MER (Ménétrier, 1979; Sheedy, 1979; Sheedy & Vallée, 1981) ainsi que dans les plantations (Sheedy, 1982; Veilleux, 1981a, b; Phu & Gagnon, 1975). Gagnon (1971) a étudié les effets des boues d'égoût sur l'épinette blanche en plantation. L'utilisation des plantes fixatrices d'azote comme source de biomasse et comme plante améliorante de la qualité du sol sur les stations très pauvres est aussi envisagée (Prégent & Camiré, 1985).

Au début du Programme interprovincial, l'utilisation des engrais azotés comme traitement sylvicole était déjà opérationnelle dans les pays Scandinaves et dans le nord-ouest américain. Il apparaissait alors qu'une unité d'azote n'avait

pas la même valeur biologique et/ou économique si elle était appliquée sous forme d'urée comparée au nitrate d'ammonium. Les travaux entrepris à l'Université Laval ont d'abord cherché à expliquer ces différences. Les pertes d'azote par volatilisation ammoniacale ont été étudiées en forêt de pin gris (Carrier & Bernier, 1971 et 1976) et en forêt de sapin baumier (Bernier *et al.*, 1972). La fixation chimique de l'ammoniaque sur les colloïdes humiques et l'augmentation de la capacité d'échange cationique suite à l'addition d'urée à l'humus brut ont été quantifiées ainsi que l'incidence des engrais sur le déplacement et le lessivage des bases endogènes (Camiré & Bernier, 1981a et b). Le devenir de l'azote ajouté a été étudié assez en détail (Camiré & Bernier, 1981a et b; Roberge & Knowles, 1966).

Les effets de l'urée sur les symbioses racinaires ont également été abordés (Tétrault *et al.*, 1978). Des chercheurs du Pulp and Paper Research Institute of Canada (PPRIC), du MacDonald College et d'Environnement Canada ont abordé les aspects microbiologiques reliés à l'addition d'urée (Roberge 1976; Roberge & Knowles, 1966; Roberge *et al.*, 1970; Weetman *et al.*, 1980). Couture et Fortin (1983a) ont étudié l'influence de l'addition d'urée sur la dégradation de la matière ligneuse. Les effets de la fertilisation sur la production des semences ont été étudiés par Sheedy (1978a,b). Des études en relation avec les insectes ont montré des résultats intéressants pour la mouche à scie du pin gris suite à l'addition d'urée (Smirnoff & Bernier, 1973) et sur d'autres insectes (Smirnoff & Valéro, 1975). Le devenir du phosphore ajouté et le phosphore assimilable ont été étudiés

(Brouillette, 1974; Kong, 1964). Lafond et Laflamme (1970) ont évalué le rôle possible du fer et du manganèse sur la régénération. Laflamme (1970) a étudié le manganèse assimilable par le pin rouge. L'ensemble de ces études ont porté sur les conifères. Des problèmes de connaissances de base sur les feuillus ont été identifiés depuis le début des travaux sur le dépérissement des érablières.

3.2 Interventions et fertilité des sols

Veilleux (1972) a étudié les effets d'un brûlage contrôlé sur l'humus alors que Gonzalez *et al.*, (1977) ont mesuré l'impact de l'éclaircie sur le sol forestier. Roberge (1979) a analysé les conséquences des récoltes intensives sur la fertilité des sols des forêts feuillues nordiques. Weetman et Algar (1983) et Weetman et Webber (1972) ont étudié l'influence de la récolte sur le statut nutritionnel du sol en stations d'épinette noire et de pin gris. Weetman *et al.* (1973) ont étudié les effets des opérations forestières sur le sol. A notre avis, ce dernier sujet n'a pas reçu toute l'attention nécessaire, les techniques et la machinerie d'exploitation étant susceptible de modifier considérablement le sol.

3.3 Polluants atmosphérique et fertilité des sols

Depuis plus d'une décennie, des diminutions de croissance et des dépérissements sont rapportés pour plusieurs espèces et sur de grandes superficies tant en Amérique du Nord qu'en Europe. L'acidité des pluies est la cause la plus souvent invoquée pour expliquer ces phénomènes. En relation avec ces problèmes, diver-

ses études sont en cours au Québec. Sous la direction de Robitaille et Boutin, Environnement Canada poursuit, depuis 5 ans, des travaux dans une sapinière du parc des Laurentides. A l'Université Laval, Fortin et Camiré effectuent des recherches sur les systèmes mycorhiziens, la décomposition de la matière organique et le lessivage des éléments suite à l'acidification dans une sapinière. Au MER, une équipe sous la direction de Gagnon et Robitaille poursuit des travaux d'inventaire et d'analyse dans les érablières des Appalaches. Les travaux dirigés par Bernier de l'Université Laval, visent à connaître la nutrition et le cycle biogéochimique des érablières en dépérissement (Bernier *et al.*, 1984). Le professeur Hendershot du MacDonalld College étudie la spéciation de l'aluminium en relation avec le phénomène des précipitations acides (Hendershot *et al.*, 1985).

3.4 Cycle des éléments dans les écosystèmes

Ces dernières années, les travaux en nutrition ont évolué, passant de la nutrition des espèces à la nutrition des peuplements. La nutrition est alors vue dans le contexte du cycle biogéochimique (Bernier, 1984). La notion de pools et de cycle (intrants, absorption, résorption, restitution et extrants) prend toute son importance dans le contexte des plantes pérennes et des rotations longues.

Des études sont en cours dans les érablières en dépérissement des Appalaches (Bernier *et al.*, 1984). Le cycle des éléments, principalement l'azote, est étudié dans les plantations à courte rotation (Côté & Camiré, 1985). L'approche biogéochimique dans ces études doit être privilégiée car elle permet d'étu-

dier la nutrition dans un contexte dynamique en tenant compte de l'ensemble des composantes de l'écosystème. La composante souterraine a été jusqu'ici négligée. Les études dans ce domaine devront être accélérées car des interrogations majeures demeurent sans réponse.

3.5 Station-croissance

Ces études ont tenté de relier les propriétés du sol et les différentes variables de station à la croissance de différentes espèces (e.g. Waskman *et al.*, 1975). Des travaux ont été menés dans des plantations de pin rouge (Meyer, 1965; Phu, 1974 et 1975b), de mélèze laricin (Phu, 1975c), de mélèze européen (Phu, 1975a), d'épinette de Norvège (Camirand *et al.*, 1983), de pins gris, sylvestre et blanc (Brazeau, 1983). La variabilité verticale et horizontale du sol n'a semble-t-il pas été assez bien comprise dans certaines de ces études.

Les différentes études écologiques conduites ou dirigées par les professeurs Lafond et Grandtner de l'Université Laval ont apporté des informations importantes sur les sols forestiers et les relations sols-espèce-croissance. Coderre, Gagnon et Bergeron de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), Bouchard de l'Université de Montréal, Ducruc et Gérardin du MENVIQ, Majcen du MER (Majcen *et al.*, 1984) et Zarnovican d'Environnement Canada (Zarnovican, 1983), sont aussi impliqués dans des travaux de cette nature. Dans ce domaine, des travaux d'importance ont commencé à être publiés à partir de 1960 (e.g. Lafond, 1960; Lemieux, 1965).

4. LE SOL COMME MILIEU VIVANT

L'activité des vers de terre (Léger & Millette, 1977 et 1979; Maldague, 1970; Maldague & Couture, 1971; Reynolds, 1975a, b et c, 1976a et b), de la pédofaune (Couture & Fortin, 1983), l'activité microbiologique globale (Bernier, 1960), la caractérisation microbiologique (Fortin, 1972; Reddy & Knowles, 1965), la décomposition de la matière organique (Couture & Fortin, 1982; Maldague, 1968), la fixation non symbiotique de N_2 (Knowles, 1976, 1977 et 1980), la minéralisation-immobilisation (Bernier & Pineau, 1964, Bernier & Roberge, 1962; Knowles, 1975; Knowles & Chu, 1969), la nitrification (Bernier & Roberge, 1962), la dénitrification (Knowles, 1981), et l'activité uréolytique (Carrier & Bernier, 1976; Roberge & Knowles, 1966 et 1967) sont autant de domaines qui ont été abordés. Des chercheurs québécois ont acquis une solide réputation sur la dénitrification (Knowles, 1981) et l'enzymologie (Roberge, 1978). Ce domaine de recherche a été assez bien couverts à l'exception des arthropodes du sol. Présentement, Coderre et Gagnon de l'UQUAM poursuivent des études dans ce sens.

5. LE SOL COMME RESERVOIR HYDROLOGIQUE

Le sol forestier et la couverture végétale constituent un purificateur et un régulateur des débits d'eau. Les travaux en hydrologie forestière n'ont véritablement commencé au Québec qu'en 1973 avec l'engagement du professeur Plamondon à l'Université Laval. Le retard considérable du Québec à s'intéresser à ce champ d'activité scientifique s'explique par l'abondance de la

ressource eau. A l'exclusion des investissements d'Hydro-Québec, les sommes consenties pour l'utilisation de la ressource eau restent minimales bien que les coûts reliés au traitement des eaux pour la consommation domestique vont en s'accroissant. Pour les fins de production forestière, seuls les producteurs de semis (pépinières et serres) irriguent les plantes afin d'avoir une croissance optimale.

L'équipe du professeur Plamondon a travaillé sur l'effet de la fertilisation sur la qualité de l'eau (Gonzalez & Plamondon, 1978) et sur l'écoulement et l'érosion suite aux modifications du couvert forestier (Plamondon, 1981, 1982a et b). Des études sont également en cours à l'Université du Québec à Montréal (Lauzier & Berraja, 1985). Un effort particulier est mis sur l'adaptation et l'amélioration des modèles de simulation en hydrologie forestière et des projets sont envisagés dans le domaine du drainage des forêts naturelles. De grandes superficies de sols mal drainés sont disponibles pour la production forestière. Des pays, comme la Finlande, ont réussi à rendre ces milieux productifs pour la production forestière suite à des travaux de drainage.

6. CONCLUSION

Bien que les intervenants soient peu nombreux en recherche sur les sols forestiers, nous n'en avons pas moins constaté une somme importante de travaux. A notre avis les travaux de classification et de cartographie des sols à grande échelle doivent être accélérés si l'on désire un niveau de succès acceptable dans le vaste programme de reboisement que le Québec s'est donné (300

millions de plants an^{-1} à partir de 1988). En relation avec la nutrition des peuplements, les études biogéochimiques sont nettement en retard au Québec, le programme biologique international (PBI) n'ayant jamais pu aboutir. Enfin, l'effet des méthodes d'exploitation sur la ressource sol et la croissance des arbres de la future révolution est peu étudié.

BIBLIOGRAPHIE

- Barrette, C. 1969. Etude sur l'aluminium dans les sols podzolisés. Thèse de maîtrise. Univ. Laval. Québec, 46 p.
- Bélanger, L., J.P. Ducruc & M. Pineau. 1983. Proposition d'une méthodologie d'inventaire écologique adaptée au territoire forestier périurbain. *Naturaliste can.* 110: 459-476.
- Bélanger, L. & M. Pineau. 1983. La planification écologique et l'aménagement du territoire urbain québécois: une problématique. *Cahier Géogr. Québec* 27: 5-21.
- Bergeron, Y., A. Bouchard, P. Gangloff & C. Camiré. 1983. La classification écologique des milieux forestiers de la partie ouest des Cantons d'Hébertcourt et de Roquemaure, Abitibi, Québec. *Etudes écologiques* no 9. Univ. Laval, Québec, 169 p.
- Bergeron, Y., C. Camiré, A. Bouchard & P. Gangloff. 1982. Analyse et classification des sols pour une étude écologique intégrée d'un secteur de l'Abitibi, Québec. *Géog. Phys. Quat.* XXXVI: 291-305.
- Bernier, B. 1956. A study of some aspects of polysaccharides in soil processes. Ph.D. thesis. Univ. Oxford.
- Bernier, B. 1958. Characterization of polysaccharides isolated from forest soils. *Biochem. J.* 70: 590-598.
- Bernier, B. 1960. Observations sur le métabolisme respiratoire de quelques humus forestiers. *Contrib.* no 5. Fonds Rech. For. Univ. Laval. Québec, 44 p.
- Bernier, B. 1966. Fertilité des sols forestiers et rentabilité de la fertilisation en forêt naturelle. *Bull.* no 9. Fonds Rech. For. Univ. Laval. Québec, 21 p.
- Bernier, B. 1968. Descriptive outline of forest humus-form classification. *Nat. Soil Survey Comm. Proc.* 7: 139-154.

- Bernier, B. 1984. Nutrient cycling in *Populus*: a literature review, with implications on intensively managed plantations. IEA/FE PG "B" Enfor CFS, Report 1984:6, 46 p.
- Bernier, B., M. Brazeau & C. Camiré. 1984. Recherches sur le dépérissement et le statut nutritif de l'érablière des Appalaches au Québec. Min. Energie & Ressources. Gouv. Québec, 55 p.
- Bernier, B., M. Brazeau & C.H. Winget. 1972. Gaseous loss of ammonia following urea application in a balsam fir forest. Can. J. For. Res. 2: 59-62.
- Bernier, B. & J.L. Carrier. 1968. Etude sur l'extraction du fer et de l'aluminium libres dans les sols podzolisés. Naturaliste can. 95: 247-257.
- Bernier, B. & M. Pineau. 1964. Etude *in vitro* sur la minéralisation de l'azote organique dans les humus forestiers. II. Influence de l'addition de litières d'érable à sucre. Proc. 8th Int. Cong. Soil Sci. (Bucharest) 3: 655-663.
- Bernier, B. & M.R. Roberge. 1962. Etude *in vitro* sur la minéralisation de l'azote organique dans les humus forestiers. I. Influence de litières forestières. Contrib. no 9. Fonds Rech. For. Univ. Laval. Québec, 47 p.
- Bernier, B. & H.S.D. Swan. 1970. Biological and economic aspects of forest fertilization in Canada. Canadian Council of Resource Ministers. Paper No. 26, 17 p.
- Bouchard, A., Y. Bergeron, C. Camiré, P. Gangloff & M. Gariépy. 1985. Proposition d'une méthodologie d'inventaire et de cartographie écologique: le cas de la MRC du Haut-Saint-Laurent. Cahiers Géogr. Québec 29: 79-95.
- Brazeau, M. 1983. Relations entre différentes caractéristiques du milieu et l'indice de fertilité de plantations dans la partie centrale du sud du Québec. III. Plantations de pin gris, sylvestre et blanc. Rapport interne 236. Min. Energie & Ressources. Gouv. Québec, 104 p.
- Brouillette, J.G. 1974. Evolution du phosphore ajouté au podzol ferro-humique Laurentide. Thèse de maîtrise. Univ. Laval. Québec, 50 p.
- Brown, J.L. 1977. Etude de la perturbation des horizons du sol par un arbre qui se renverse et de son impact sur la pédogénèse. Can. J. Soil Sci. 57: 173-186.
- Brown, J.L. 1979. Etude systématique de la variabilité d'un sol podzologique, le long d'une tranchée dans une érablière à bouleau jaune. Can. J. Soil Sci. 59: 131-146.
- Brown, J.L. & P. Gangloff. 1980. Géliformes et sols cryiques

dans le sud de l'Abitibi, Québec. Géog. Phys. Quat. XXXIV: 137-158.

- Camirand, R., C. Camiré & B. Bernier. 1983. Comportement de *Picea abies* Karst. en plantation au Québec, Canada. I. Relations sol-station-croissance. Plant Soil 73: 3-16.
- Camiré, C. & B. Bernier. 1981a. Fertilisation azotée en forêt de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.). I. Cheminement des engrais dans le sol. Can. J. For. Res. 11: 413-421.
- Camiré, C. & B. Bernier. 1981b. Rétention de l'azote et évolution des propriétés d'un humus brut de station de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) après application d'engrais azotés. Can. J. For. Res. 11: 51-61.
- Carrier, D. 1963. Etude sur les matières humiques des principaux sols forestiers du Québec. Thèse de maîtrise. Univ. Laval. Québec, 130 p.
- Carrier, D. & B. Bernier. 1971. Pertes d'azote par volatilisation ammoniacale après fertilisation en forêt de pin gris. Can. J. For. Res. 1: 69-79.
- Carrier, D. & B. Bernier. 1976. Influence de la température et de l'humidité sur l'uréolyse et la volatilisation ammoniacale dans un humus forestier. Naturaliste can. 103: 77-81.
- Chenard, F., D. Bérubé, J.P. Ducruc & D. Veillette, 1985. Cadre écologique de référence de la MRC Rimouski-Neigette. Contributions de la division des inventaires écologiques no 17. Min. Environnement Québec, 42 p.
- Côté, B. & C. Camiré. 1985. Nitrogen cycling in dense plantings of hybrid poplar and black alder. Plant Soil (sous presse).
- Couture, M. & J.A. Fortin. 1982. Activité biologique dans les sols de six écosystèmes forestiers du Québec méridional. Can. J. Soil Sci. 62: 599-615.
- Couture, M. & J.A. Fortin. 1983a. Influence de la fertilisation à l'N-urée sur la dynamique de la dégradation de la matière ligneuse dans deux humus forestiers. Rev. Ecol. Biol. Sol 20: 493-509.
- Couture, M. & J.A. Fortin. 1983b. Rôle de la pédofaune au sein du processus de dégradation de la matière ligneuse dans deux humus forestiers. Rev. Ecol. Biol. Sol 20: 207-220.
- Dubois, J.M. 1985. Les ortsteins de la Côte Nord du Saint-Laurent: répartition géographiques et relations géomorphologiques. Ann. ACFAS.
- Ducruc, J.P. 1985. L'analyse écologique du territoire au Québec: l'inventaire du capital-nature de la Moyenne-et-Basse-Côte-

- Nord. Série de l'inventaire du capital-nature, ICN-6. Min. Environnement Québec, 192 p.
- Ducruc, J.P. & D. Bérubé. 1980. Le système écologique, unité de base de la cartographie écologique: L'inventaire du capital-nature du territoire de la Baie-James - Série de la classification écologique du territoire, no 8, Service des études écologiques régionales. Env. Canada. Québec, 49 p.
- Ducruc, J.P. & V. Gérardin. 1983. Les dépôts de surface et les roches-mères pédologiques de la Moyenne- et Basse-Côte Nord. Caractéristiques physiques. Série de l'inventaire du capital-nature, ICN-3. Min. Environnement Québec, 85 p.
- Evers, R.W., S.H. Morse & D.L. Rogers. 1984. Soils: the foundation for poplar plantations in Ontario. pp. 29-40 *In*: E.L. Stone (ed.). Forest Soils & Treatment Impacts. Department of Forestry, Wildlife and Fisheries. The Univ. of Tennessee, Knoxville, Tennessee.
- Fortin, J.A. 1972. Observations microbiologiques dans quelques sols forestiers du Québec. Can. J. Microbiol. 19: 1379-1388.
- Gagnon, J.D. 1971. Effets comparés des ordures ménagères, des boues d'égoûts et d'un engrais potassique sur la croissance en hauteur d'une plantation d'épinette blanche âgée de 10 ans. Rapp. Inf. Q-F-X-19. Cent. Rech. For. Laur., Québec, 12 p.
- Gérardin, V., D. Bérubé & J.P. Ducruc. 1984. Cadre écologique de référence de l'unité de gestion des Chic-Chocs (partie occidentale): carte des topo-systèmes et des régions de croissance. Contributions de la Division des inventaires écologiques no 12. Min. Environnement Québec, 197 p.
- Gérardin, V., G. Lavoie & D. Bérubé. 1985. Le cadre écologique de référence de la réserve écologique du Micocoulier. Série de l'inventaire du capital-nature, ICN-7. Min. Environnement Québec, 51 p.
- Gonzalez, A., M. Boudoux & G. Hubert. 1977. Etude par l'analyse en composantes principales des propriétés chimiques d'un sol forestier 10 ans après éclaircie. Can. J. Soil Sci. 57: 147-156.
- Gonzalez, A. & G. Hubert. 1972. Propriétés chimiques et physiques de la matière organique non dialysable extraite de quatre podzols du Québec. Can. J. Soil Sci. 52: 1-17.
- Gonzalez, A. & A.P. Plamondon. 1978. Urea fertilization of natural forest: effects on water quality. Forest Ecol. Manage. 1: 213-221.
- Hendershot, W.H., H. Lalande & A. Dufresne. 1985. Aluminum

- speciation and movement in the southern Laurentians. Water Poll. Rev. J. Can. (soumis).
- Hubert, G. & A. Gonzalez. 1970. Extraction et répartition du fer et de l'aluminium liés à la matière organique dans quatre podzols du Québec. Can. J. Soil Sci. 50: 281-290.
- Jurdant, M., J. Beaubien, J.C. Dionne & V. Gérardin. 1972. Carte écologique de la région du Saguenay - Lac Saint-Jean. Notice explicative. Vol. 1. L'environnement et ses ressources: identification, analyse et évaluation. Rapport d'infor. Q-F-X-31. Cent. Rech. For. Laur. Québec, 93 p.
- Jurdant, M., J.L. Bélair, V. Gérardin & J.P. Ducruc. 1977. L'inventaire du capital-nature. Méthode de classification et de cartographie écologique du Territoire (3e approximation). Série de la classification écologique du territoire, no 2. Env. Canada. Ottawa, 202 p.
- Jurdant, M. & J.P. Ducruc. 1980. Carte écologique du Territoire de la Baie James: districts écologiques et géomorphologie; légende détaillée. Série de la classification écologique du territoire, no 10. Env. Canada. Ottawa, 26 p.
- Kong, K.T. 1964. Etude sur le dosage du phosphore assimilable dans les sols forestiers. Thèse de maîtrise. Univ. Laval. Québec, 61 p.
- Knowles, R. 1975. Interpretation of recent ^{15}N studies of nitrogen in forest systems. pp. 53-65 In B. Bernier & C.H. Winget (eds.) Forest Soils and Forest Land Management. Presses de l'Univ. Laval, Québec.
- Knowles, R. 1976. Factors affecting dinitrogen fixation by bacteria in natural and agricultural systems. pp. 539-555 In W.E. Newton & C.J. Nyman (eds.). Nitrogen Fixation. Washington State Univ. Press.
- Knowles, R. 1977. The significance of asymbiotic dinitrogen fixation by bacteria. pp. 33-83 In A.H. Gibson (eds.). A Treatise on Dinitrogen Fixation. Section IV: Agronomy and Ecology. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Knowles, R. 1980. Nitrogen fixation in natural plant communities and soils. pp. 557-582 In F.J. Bergessen (ed.). Methods for Evaluating Biological Nitrogen Fixation. John Wiley and Sons, London.
- Knowles, R. 1981. Denitrification. pp. 323-369 In: Soil biochemistry. E.A. Paul & J.N. Ladd (ed.). Marcel Dekker Inc., New York.
- Knowles, R. & D.F.H. Chu. 1969. Survival and mineralization and immobilization of ^{15}N -labelled *Serratia* cells in a boreal forest raw humus. Can. J. Microbiol. 15:223-228.

- Krause, H.H., G.F. Weetman, E. Koller & J.M. Veilleux. 1982. Programme interprovincial de fertilisation des forêts. Résultats des remesurages de l'accroissement quinquennal. Rapp. Inf. DPC-X-12. Env. Canada, 55 p.
- Laflamme, Y. 1970. Détermination du manganèse assimilable par le pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.) dans le sol. Naturaliste can. 97: 525-533.
- Lafond, A. 1949. Oxidation-reduction potential as a characteristic of forest humus types. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14: 337-340.
- Lafond, A. 1951. Natural forms of forest humus: their physical-chemical and biochemical properties. Ph.D. thesis. Univ. Wisconsin, Madison.
- Lafond, A. 1956. Les déficiences en potassium et magnésium des plantations de *Pinus strobus*, *Pinus resinosa* et *Picea glauca* dans la province de Québec. Contr. no 1. Fonds Rech. For. Univ. Laval. Québec, 24 p.
- Lafond, A. 1960. Some soils, vegetation and site relationships of the climatic and sub-climatic black spruce forest in Northeastern America. pp. 57-74. In: Proc. First North American Forest Soils Conference. Michigan State Univ., East Lansing, Michigan.
- Lafond, A. 1962. La fertilisation forestière au Canada. Bull. no 5. Fonds Rech. For. Univ. Laval. Québec, 46 p.
- Lafond, A. & Y. Laflamme. 1970. Relative concentrations of iron and manganese: a factor affecting jack pine regeneration and jack pine - black spruce succession. pp. 305-312 In: C.T. Youngberg & C.B. Davey (eds). Tree Growth and Forest Soils. Oregon State Univ. Press, Corvallis.
- Lauzier, D. & M. Berraja. 1985. Impact de la modification du couvert forestier sur la fonte du printemps. Ann. ACFAS.
- Léger, R.G. & G.J.F. Millette. 1977. Properties of four Québec soils after incubation with five species of earthworms. Can. J. Soil Sci. 57: 165-172.
- Léger, R.G. & G.J.F. Millette. 1979. Distribution écologique des vers de terre (*Oligochaeta-lumbricidae*) dans la forêt du Morgan arboretum. Naturaliste can. 106: 369-376.
- Lemieux, G.J. 1965. Soil-vegetation relationships in the northern hardwoods of Quebec. pp. 163-176 In: C.T. Youngberg (ed.). Forest Soil Relationships in North America. Oregon State Univ. Press, Corvallis.
- Majcen, Z., Y. Richard & M. Ménard. 1984. Ecologie et dendrométrie dans le sud-ouest du Québec, étude de douze

- secteurs forestiers. Mémoire no Min. Energie & Ressources. Gouv. Québec, 334 p.
- Maldague, M. 1968. Vitesse de décomposition de litières d'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) de la région de Québec. Naturaliste can. 95: 259-286.
- Maldague, M.E. 1970. Rôle des animaux édaphiques dans la fertilité des sols forestiers. I.N.E.A.C. Publ. no 112. Bruxelles, 245 p.
- Maldague, M. & G. Couture. 1971. Utilisation de litières radioactives par *Lumbricus terrestris*. IV Voll. Pédobiol. p. 147-154. I.N.R.A., Paris.
- Ménétrier, J. 1979. Recherche et développement sur le peuplier. XV. Effet de divers modes, doses, formes et dates d'épandage de fertilisants sur des plantations de boutures. Mémoire no 50. Min. Terres & Forêts. Gouv. Québec, 57 p.
- Meyer, D. 1965. Influence des sols sur le succès des plantations de pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.) dans la région de Québec. Thèse de maîtrise. Univ. Laval. Québec, 72 p.
- Pagé, F., C.R. De Kimpe, G.A. Bourbeau & M. Rompré. 1980. Formation d'horizons cimentés dans les sols sableux du delta des rivières Manicouagan et Outardes, Québec. Can. J. Soil Sci. 60: 163-175.
- Pagé, F. & J. Berrier. 1983. Composition du matériel liant dans des horizons à ortstein, duriques, fragiques et cimentés intergrades. Can. J. Soil Sci. 63: 435-453.
- Perras, S., F. Bonn, H. Gwyn & J.M.M. Dubois. 1985. Classification multispectrale et apport de la bande TM7 dans la distinction des dépôts meubles de l'île d'Anticosti, Québec. Can. J. Earth Sci. (sous presse).
- Phu, T.D. 1974. Height-growth patterns of planted red pine in relation to eco-pedological site conditions in Quebec. Rapp. Int. LAU-X-11. Cent. Rech. For. Laur., Québec, 24 p.
- Phu, T.D. 1975a. Nutrient requirements of planted european larch in Quebec. Plant Soil 42: 109-117.
- Phu, T.D. 1975b. Potassium et magnésium: deux éléments limitant la croissance en hauteur du pin rouge au Québec. Can. J. For. Res. 5: 73-79.
- Phu, T.D. 1975c. Relations entre la croissance en hauteur du mélèze laricin et les teneurs en éléments minéraux du sol et des aiguilles. Naturaliste can. 102: 99-108.
- Phu, T.D. & J.D. Gagnon. 1975 Nutrient growth relationships in

- the Grand'Mère white spruce plantations before and after fertilization. *Can. J. For. Res.* 5: 640-648.
- Plamondon, A.P. 1981. Ecoulement et modification du couvert forestier. *Naturaliste can.* 108: 289-298.
- Plamondon, A.P. 1982a. Augmentation de la concentration des sédiments en suspension suite à l'exploitation forestière et durée de l'effet. *Can. J. For. Res.* 12: 883-892.
- Plamondon, A.P. 1982b. L'exploitation forestière et l'apport de particules en suspension dans les petits cours d'eau de la Beauce. *Géogr. Phys. Quat.* XXXVI: 315-325.
- Prégent, G. & C. Camiré. 1985. Biomass production by alders on four abandoned agricultural soils in Quebec. *Plant Soil* (sous presse).
- Reddy, T.K.R. & R. Knowles. 1965. The fungal flora of a boreal forest raw humus. *Can. J. Microbiol.* 11: 837-843.
- Reynolds, J.W. 1975a. Les lombricidés (*Oligochaeta*) de la Gaspésie, Québec. *Megadrilogica* 2(4): 4-9.
- Reynolds, J.W. 1975b. Les Lombricidés (*Oligochaeta*) de l'île d'Orléans, Québec. *Megadrilogica* 2(5): 8-10.
- Reynolds, J.W. 1975c. Les Lombricidés (*Oligochaeta*) des Iles-de-la-Madeleine. *Megadrilogica* 2(3): 1-8.
- Reynolds, J.W. 1976a. Catalogue et clé d'identification des Lombricidés du Québec. *Naturaliste can.* 103: 21-27.
- Reynolds, J.W. 1976b. Un aperçu des vers de terre des forêts nord-américaines, leurs activités et leur répartition. *Megadrilogica* 2(9): 1-11.
- Richard, A. 1943. Studies on the nature of podzolization. Ph.D. thesis. Cornell Univ., New York.
- Roberge, M.R. 1976. Respiration rates for determining the effects of urea on the soil-surface organic horizon of a black spruce stand. *Can. J. Microbiol.* 22: 1328-1335.
- Roberge, M.R. 1978. Methodology of soil enzyme measurement and extraction. pp. 341-370. *In*: R.G. Burns (ed.). *Soil Enzymes*. Academic Press Inc., London.
- Roberge, M.R. 1979. Consequences of intensive harvesting on soil microbiology and fertility of Quebec northern hardwood forest. pp. 415-421 *In* Proc. Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. State Univ. of New York, School of Forestry, Syracuse, New York.
- Roberge, M.R. & J.D. Gagnon. 1974. Etude d'un épandage aérien

d'urée en forêt. Can. J. For. Res. 4: 482-490.

Roberge, M.R. & R. Knowles. 1966. Ureolysis, immobilization, and nitrification in black spruce (*Picea mariana* Mill.) humus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 201-204.

Roberge, M.R. & R. Knowles. 1967. The ureolytic microflora in a black spruce (*Picea mariana* Mill.) humus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31: 76-79.

Roberge, M.R., G.F. Weetman & R. Knowles. 1970. An ecological and microbiological study of urea fertilization and thinning in a black spruce stand. pp. 73-96. In: C.T. Youngberg & C.B. Davey (eds.). Tree Growth and Forest Soils. Oregon State Univ. Press., Corvallis.

Sheedy, G. 1977. Détermination du taux réel d'engrais appliqué lors d'un épandage aérien d'urée en forêt. Note no 6. Min. Terres & Forêts. Gouv. Québec, 11 p.

Sheedy, G. 1978a. Effets de cinq traitements de fertilisation sur la production de cônes et de semences d'un peuplement naturel de pin gris âgé de 54 ans. Note no 9. Min. Terres & Forêts. Gouv. Québec, 10 p.

Sheedy, G. 1978b. Effets de sept traitements de fertilisation sur la production de cônes et de graines d'un peuplement de sapin baumier âgé de 60 ans. Note no 8. Min. Terres & Forêts. Gouv. Québec, 10 p.

Sheedy, G. 1979. Recherche et développement sur le peuplier. XII - Impact du taux de fertilisation, du mode et de la période d'épandage sur la croissance. Mémoire no 47. Min. Terres & Forêts. Gouv. Québec, 25 p.

Sheedy, G. 1982. Résultats d'une fertilisation en N-P-K sur de jeunes plantations d'épinette de Norvège, d'épinette noire et de pin gris établies sur deux types de terrain. Note no 18. Min. Energie & Ressources. Gouv. Québec, 9 p.

Sheedy, G. & G. Vallée. 1981. Recherche et développement sur le peuplier XVII - Comportement de 15 clones à la suite de l'application de trois traitements de fertilisation. Mémoire no 72. Min. Energie & Ressources. Gouv. Québec, 25 p.

Smirnoff, W.A. & B. Bernier. 1973. Increased mortality of the Swaine jack pine sawfly, and foliar nitrogen concentrations after urea fertilization. Can. J. For. Res. 3: 112-121.

Smirnoff, W.A. & J. Valéro. 1975. Effets à moyen terme de la fertilisation par urée ou par potassium sur *Pinus banksiana* L. et le comportement de ses insectes dévastateurs tel que *Neodiprion swainii* (Hymenoptera, Tenthredinidae) et *Toumeyella numismaticum* (Homoptera, Coccidae). Can. J. For. Res. 5: 236-244.

- Stone, E.L. 1975. Soil and man's use of forest land. pp. 1-9 *In*: B. Bernier & C.H. Winget (eds.). Forest Soils and Forest Land Management. Presses Univ. Laval, Québec.
- Swan, H.S.D. 1969. Fertilizers, their role in reforestation. Pulp Paper Res. Inst. Can., Woodlands pap. 9. Pointe Claire. Québec, 11 p.
- Swan, H.S.D. 1974. Forest fertilization: progress and environmental concerns in Canada and the United States. Tenth Comm. For. Conf. United Kingdom. 36 p.
- Tétreault, J.P., B. Bernier & J.A. Fortin. 1978. Nitrogen fertilization and mycorrhizae of balsam fir seedlings in natural stands. *Naturaliste can.* 105: 461-466.
- Veillette, D. & J.P. Ducruc. 1985. Un cadre écologique de référence du territoire des municipalités régionales de comté: exemple des MRC de Desjardins et de Robert-Cliche. Série de l'inventaire du capital-nature, ICN-5. Min. Environnement Québec, 154 p.
- Veilleux, J.M. 1972. Effets d'un brûlage contrôlé sur les propriétés physico-chimiques de l'humus. Mémoire no 9. Min. Terres & Forêts. Gouv. Québec, 31 p.
- Veilleux, J.M. 1981a. Taux de survie et croissance en hauteur obtenus après 15 ans dans une plantation d'épinette noire établie sur le site d'un brûlage dirigé. Note no 15. Min. Energie & Ressources. Gouv. Québec, 9 p.
- Veilleux, J.M. 1981b. Effets d'engrais organiques et chimiques sur le taux de survie et la croissance en hauteur obtenus après 15 ans dans une plantation d'épinette blanche effectuée sur dunes. Note no 17. Min. Energie & Ressources, Gouv. Québec, 10 p.
- Waskman, G., M. Ménard & J. Bélanger. 1975. Analyse factorielle des relations entre le milieu et la production: étude des tremblaies de la section Laurentienne. *Can. J. For. Res.* 5: 662-680.
- Weetman, G.F. & D. Algar. 1983. Low-site class black spruce and jack pine nutrient removals of the full tree and tree length logging. *Can. J. For. Res.* 13: 1030-1036.
- Weetman, G.F., W.W. Grapes & G.F. Frisque. 1973. Reproduction et condition de terrain 5 ans après une récolte de bois à pâte: résultats de 37 aires d'étude dans l'est du Canada. Rapport de recherche en exploitation. Pulp Paper Res. Inst. Can., Pointe-Claire. Québec, 99 p.
- Weetman, G.F., M.R. Roberge & C.H. Meng. 1980. Black spruce: 15-year growth and microbiological responses to thinning and

fertilization. Can. J. For. Res. 10: 502-509.

Weetman, G.F. & B. Webber. 1972. The influence of wood harvesting on the nutrient status of two spruce stands. Can. J. For. Res. 2: 351-369.

Zarnovican, R. 1983. Production stationnelle dans les sapinières en Gaspésie, Québec. Rapp. Inf. Lau-X-64. Cent. Rech. For. Laur., Québec, 47 p.

Michel P. Cescas, professeur titulaire
Département des Sols, Université Laval
2219, Pavillon Paul Comtois
Cité Universitaire, Ste-Foy G1K 7P4

Rétrospective de la recherche sur les sols au Québec: contribution
à l'étude des sols tropicaux.

I- Introduction

II- Types de contributions

1- Contributions directes

1.1 techniques

1.2 de formation

2- Contributions indirectes

III- Contributions spécifiques du Québec à l'étude des sols tropicaux

IV- Remarques et conclusions

Rétrospective de la recherche sur les sols au Québec: contribution à l'étude des sols tropicaux

I- INTRODUCTION

Comme toute compagnie fait régulièrement le bilan de ses activités il était temps que les pédologues (au sens le plus large) oeuvrant au Québec, fassent la revue de leur contribution dans le domaine des sols tropicaux. On ne peut que féliciter les organisateurs du colloque Messieurs Michel C. Nolin et Camille Laverdière d'avoir inclu un sujet qui, somme toute, peut paraître quelque peu éloigné des préoccupations journalières des pédologues québécois. Au mieux de mes connaissances, en m'excusant d'avance auprès de ceux que j'aurais pu oublier, je vais présenter les principaux intervenants, leurs domaines d'actions et les pays concernés par leurs activités.

Cette revue me permettra alors de faire quelques observations et de tirer quelques conclusions.

II- TYPES DE CONTRIBUTIONS

A des fins de compréhension je considère qu'il y a deux types de contribution à considérer, les contributions directes et les contributions indirectes pour lesquelles on peut définir les spécificités qui suivent.

1- Contribution directes

1.1 techniques

Celles-ci comprennent les activités telles que:

- a) l'élaboration de cartes pédologiques et d'aménagement des sols
- b) la résolution de problèmes techniques en fertilité, en physique, en microbiologie des sols, etc.....
- c) la collecte de données de base pour une meilleure utilisation des sols et l'obtention maximale d'aliments

- d) la planification, la direction et l'administration de projets.

1.2 de formation

Il s'agit ici de formation du personnel technique, administratif et scientifique par le biais de stages et d'études techniques et universitaires amenant à l'obtention de certificats ou de diplômes.

2- Contributions indirectes

Ici on peut mentionner:

- a) la contribution au Bien-être des populations par le biais d'une augmentation de la production de vivres et aliments
- b) l'augmentation de l'expertise canadienne en milieu tropical
- c) l'établissement à court et long terme de relations personnelles et institutionnelles pouvant avoir des influences tant politiques qu'économiques.

III- CONTRIBUTIONS SPECIFIQUES DU QUEBEC A L'ETUDE DES SOLS TROPICAUX

Ci-dessous sous forme de tableaux on présente les actions spécifiques des différents intervenants québécois en pays tropicaux. Les unités administratives dont font ou faisaient parti les personnes mentionnées ont servi comme base de présentation.

Le tableau 1 présente les activités reliées au Collège McDonald de l'Université McGill, le tableau 2 celles de l'Université Laval, le tableau 3 celles de compagnies privées, le tableau 4 celles d'Agriculture Canada, le tableau 5 celles du M.A.P.A.Q. et le tableau 6 celles reliées à d'autres organismes. Il faut noter que certaines personnes ayant pu apparaître sous deux unités administratives distinctes ne sont présentes que sous la rubrique que l'on considère ayant été la première.

Dans le cadre de la formation de spécialistes en sols on a fait le relevé des diplômes obtenus par des étudiants originaires de pays tropicaux dans les deux universités ayant des programmes agronomiques au Québec (McGill et Laval). Le tableau 7 donne les statistiques pertinentes.

IV- REMARQUES ET CONCLUSIONS

Suite à la présentation et à l'examen des statistiques présentées on peut noter:

- 1- qu'il y a eu 33 intervenants du Québec en sols tropicaux en environ vingt-cinq années, ce qui est peu dans l'ensemble mais ce qui peut paraître beaucoup au premier abord.
- 2- que les statistiques ont fait abstraction de quelques participants possibles originaires de programme de géographie, en particulier dans le cas des aménagistes, parce qu'on a voulu s'en tenir principalement aux activités reliées à l'agronomie
- 3- que ne sont pas inclus dans les statistiques de formation les étudiants étrangers inscrits dans les différents instituts techniques du Québec et dans les programmes de premier cycle dans les universités. Les chiffres à ce niveau dépasseraient la centaine!
- 4- qu'au cours de l'étude des thèses et diplômes décernés dans les universités on n'a pu trouver qu'un seul canadien ayant fait une recherche en régions tropicales!

A mon avis cette étude indique un besoin urgent d'une expertise québécoise, Dans le cadre de la formation de spécialistes canadiens, l'A.C.D.I.

n'offre que 16 bourses de stages post-gradués pour tout le Canada par an, ce qui est insuffisant. A cause d'une distribution régionale balancée le Québec ne peut recevoir que deux à quatre bourses par an au maximum! La formation en emploi est pratiquement impossible puisque dans la plupart des engagements on requiert de cinq à dix ans d'expérience! C'est le fameux cercle vicieux de l'expérience.

On note aussi le peu d'engouement des jeunes à des emplois beaucoup moins "confortables". Ceci au moment même où la perception des spécialistes canadiens à l'étranger est très favorable et la demande à la hausse.

Le besoin d'un curriculum agronomique tropical (sols, plantes, génie rural et zootechnie) est évident. L'Université Laval étudie la question depuis un certain temps mais rien n'a été mis en marche à ce jour.

Pour beaucoup il est difficile d'obtenir des budgets de recherches en zones tropicales. Le C.R.D.I. base ses octrois sur les demandes nationales. Plus de souplesse envers des initiatives canadiennes devrait être accordée à ces sources de fonds pour la création de programmes spécifiques.

Après son blitz culturel il m'apparaît que le Québec devrait s'impliquer dans les relations internationales techniques que ce soit par la formation des Québécois ou par le financement de projets spécifiques de recherches.

En conclusion on peut dire que la contribution du Québec à l'étude des sols tropicaux a été importante d'un point de vue qualité mais limitée en nombre. La demande prévue accrue dans tous les domaines des sols et la qualité de base des spécialistes québécois permet d'entrevoir une implication accrue de ceux-ci dans le domaine international.

La création de programmes de formation spécialisée est une nécessité au Québec.

Tableau 1: Contribution du personnel du College McDonald de l'Université McGill à l'étude des sols tropicaux.

<u>INTERVENANT</u>	<u>ACTIONS</u>	<u>LOCALISATION</u>
MILLETTE, G.	Carte des sols Aménagement des sols	Togo Jamaïque Colombie Dahomey Guatemala Ethiopie
WARKENTIN, B.	Physique Minéralogie	Barbades Trinidad Antigua Jamaïque
McKENZIE, A.F.	Fertilité et fertilisation	Ste-Lucie Colombie Syrie Algérie Oman
KNOWLES, R.	Microbiologie	Oman Philippines
HILL, S.	Faune du sol	Trinidad Seychelles
JUTRAS, P.	Enseignement	Sénégal

Tableau 2: Contribution du personnel de la Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Université Laval à l'étude des sols tropicaux

<u>INTERVENANT</u>	<u>ACTIONS</u>	<u>LOCALISATION</u>
BOURBEAU, G.A.	Cartographie Aménagement Consultant	Burundi Rwanda Brésil
BARIL, R.W.	Enseignant Recherche	Maroc
BENTZ, A.	Consultant Recherche	Rwanda Sénégal
CAILLIER, M.	Enseignant	Algérie
ANTOUN, H.	Enseignement Recherche	Maroc Rwanda
VISSER, S.A.	Enseignement Recherche	Uganda Nigéria
CESCAS, M.P.	Enseignement Recherche Evaluation Planification	Maroc Nigéria Burkina Faso Haïti Rwanda Burundi Zaïre Sénégal
OUELLETTE, G.	Evaluation Planification Direction de projet	Haïti Tunisie Rwanda Senegal
HEROUX, R.	Cartographie Aménagement	Haïti
ROCHON, G.	Photo interprétation Aménagement	Niger autres
ALARIE, A.	Enseignement	Maroc

Tableau 3: Contribution du personnel de compagnies privées du Québec
à l'étude des sols tropicaux

<u>INTERVENANT</u>	<u>ACTIONS</u>	<u>LOCALISATION</u>
DROLET, J.-Y.	Cartographie Aménagement	Rwanda
SNEAD, P.	Cartographie Aménagement	Ethiopie Guinée (Conakry) Malaisie
BEDWANY, A.L.	Cartographie Aménagement	Guinée Ethiopie
THAI, T.-C.	Cartographie Aménagement	Haïti Sri Lanka
MURSHID, A.	Cartographie Aménagement	Ethiopie Malaisie
BERNIER, Y.	Aménagement Direction de projet	Rwanda
SYLVESTRE, G.	Aménagement Evaluation Planification	Sénégal Antilles
VEZINA, A.	Aménagement	Rwanda

Tableau 4: Contribution du personnel québécois d'Agriculture Canada
à l'étude des sols tropicaux.

<u>INTERVENANT</u>	<u>ACTIONS</u>	<u>LOCALISATION</u>
MARTEL, Y.	Fertilité	Algérie
MILLETTE, J.	Physique	Indes
DE KIMPE, C.	Taxonomie Génèse Minéralogie	Colombie Antilles
BORDELEAU, L.	Microbiologie	Sénégal

Tableau 5: Contribution du personnel du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec à l'étude des sols tropicaux.

<u>INTERVENANT</u>	<u>ACTION</u>	<u>LOCALISATION</u>
TABI, M.	Délégué Information des données de sol	Agence de Coopération culturelle et technique
MARCOUX, R.	Cartographie	Maroc

Tableau 6: Contribution du personnel relié à divers organismes
à l'étude des sols tropicaux .

<u>INTERVENANT</u>	<u>ACTION</u>	<u>LOCALISATION</u>
IGNATIEFF, G.	Fertilité Direction de projet	FAO
BRUNELLE, A.	Cartographie Enseignement	Uganda Maroc

Tableau 7: Contribution à la formation de spécialistes en sols par le Collège McDonald de l'Université McGill et par la Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Université Laval

Provenance des étudiants diplômés

Université McGill*

Iraq	6	Grèce	1
Venezuela	1	West Indies	1
Tamarié	1	Jamaïque	1
Haïti	2	Hong Kong	1
Guyane	3	Sri Lanka	3
Iran	1	Indes	3
Thaïlande	1	Taïwan	1
Pakistan	2	Kalaisie	1
Kenya	1	Taïwan	1

Université Laval**

Haïti	1
Vietnam	2
Rwanda	4
Burkina Faso	2
Egypte	3
Senegal	1
Taïwan	2
Togo	1

Diplômes obtenus

M.Sc.	22	13
Ph.D.	9	3

* depuis 1965

** depuis 1962

RÉTROSPECTIVE DES RECHERCHES SUR LA GENÈSE
ET LA CLASSIFICATION DES SOLS AU QUÉBEC

par

C.R. DE KIMPE
Agriculture Canada
Sainte-Foy, Québec

et

Y.A. MARTEL
Agriculture Canada
Frédéricton, Nouveau-Brunswick

INTRODUCTION

Les sols sont constitués de matériaux solides, minéraux et organiques, et ils renferment un volume poreux dans lequel circule la solution du sol. C'est la proportion relative de ces composants, leur organisation, leur interaction, ainsi que leur évolution au cours du temps qui font l'objet de la genèse des sols, tandis que la classification est un moyen de comparer divers sols à un moment donné de leur évolution.

L'intérêt pour les divers constituants du sol remonte fort loin dans le passé. Depuis que l'homme a utilisé l'argile pour fabriquer des poteries et des céramiques, il a établi une certaine classification des matériaux. De même, il a trouvé divers usages pour la matière organique accumulée en certains lieux de la planète. Le rapport de Keele (1915) sur les dépôts d'argiles et de schistes dans la province de Québec indique un intérêt pour la genèse des matériaux fins du sol. En effet, même si le but premier du travail effectué pour le ministère des Mines du Canada était d'inventorier les sources de matières premières pour diverses industries, l'auteur présente aussi des hypothèses sur la formation et l'altération de certains sédiments. Depuis cette époque, les techniques d'analyse et les connaissances de base sur la nature et les propriétés des minéraux ont été considérablement raffinées, mais en même temps, elles ont montré la complexité de nombreuses réactions.

D'une façon toute parallèle, avant 1800, on connaissait au Québec comme ailleurs l'existence de la matière organique, mais sa compréhension était confuse et parfois même incorrecte. Il n'était pas juste, par exemple, de croire que l'humus était la nourriture des plantes et que sa fonction n'était que chimique. Entre 1800 et 1900, il a été montré que l'humus provient de la décomposition microbiologique des débris végétaux et animaux. Après 1900, différentes écoles de pensée commencent à s'affronter, mais il en est résulté une meilleure appréhension et une meilleure définition des composants organiques du sol. C'est au cours de ce cheminement que les chercheurs ont fait ressortir les relations étroites qui lient composés minéraux et organiques dans l'évolution des sols. Nous

nous proposons de souligner quelques-uns de ces aspects, spécialement dans le contexte du Québec.

LES ÉLÉMENTS DE BASE DU SOL

Étude des dépôts et sédiments meubles

Les dépôts et sédiments meubles résultent pour la majeure partie, de la désagrégation et de la décomposition des roches à la surface de la terre, sous l'action de multiples agents. Les produits obtenus peuvent parfois rester en place, mais le plus souvent, ils sont repris et transportés à des distances très variables avant de s'accumuler et d'être soumis à un nouveau cycle d'altération pour donner les sols que nous connaissons aujourd'hui.

Quand on parle de dépôts meubles, il est nécessaire de préciser le sens que l'on donne au mot argile, utilisé de façons diverses (Landry et Mercier 1983). Plusieurs auteurs ont appelé "argiles marines" ou "Leda clay" les sédiments de la mer Champlain (Brydon et Patry 1961), on appelle "argiles sensibles" des matériaux qui peuvent contenir des pourcentages élevés de limons et de sables (Delage 1979). En science du sol, le mot argile est réservé à des particules de granulométrie $< 2 \mu\text{m}$. Cependant cette fraction argileuse ($0-2 \mu\text{m}$) contient elle-même des minéraux argileux ou phyllosilicates, du matériel amorphe, des quantités parfois élevées de minéraux primaires et de la matière organique. L'étude de ces matériaux doit se faire non seulement dans la partie superficielle, pour interpréter l'évolution des sols, mais aussi en profondeur pour comprendre leurs propriétés mécaniques.

Lors de la glaciation wisconsinienne, qui a recouvert à peu près tout le Québec, les glaciers ont aplani les formes du relief et déplacé des quantités énormes de "farine de roche" (rock flour). Ces sédiments fins se sont accumulés pendant plusieurs millénaires dans le fond des mers qui recouvraient la baie d'Hudson et les basses terres du Saint-Laurent (Lajoie 1975). Ainsi la mer Champlain occupait les vallées de l'Outaouais

et du Saint-Laurent entre 12 000 et 8 000 ans B.P. Depuis le retrait des glaciers et de la mer, les sédiments ont été exondés et se sont relevés par suite du mouvement isostatique (Lajoie 1974). De nombreux auteurs étudient la composition de ces sédiments. Les ingénieurs et les géotechniciens utilisent diverses approches pour relier le comportement des sols sensibles à leur composition minéralogique (Yong et al 1979). Une méthode proposée par Foscal-Mella (1976) et basée sur l'identification des minéraux primaires, quartz, plagioclases, microcline, amphiboles, calcite et dolomite, a permis de montrer que dans divers sols sensibles, le contenu en minéraux primaires varie de 65 à 90% (Locat et al 1984), le complément étant la somme des phyllosilicates et du matériel amorphe.

Peu de travaux comparables ont été effectués de façon approfondie sur les dépôts meubles des hautes terres dans les Appalaches et les Laurentides. Dans les Appalaches, il a été reconnu que les formations géologiques se reflètent à des degrés divers dans la composition lithologique du matériau originel des sols (Baril et Rochefort 1965). C'est d'ordinaire dans les tills proprement dits que l'on observe la composition lithologique la plus représentative des formations géologiques environnantes et sous-jacentes. Il ne faut cependant pas oublier que les matériaux originels des sols ont été arrachés aux roches puis transportés à des distances variables de leur point d'origine, après avoir été plus ou moins triturés et classés. Un travail actuellement entrepris par les pédologues du MAPAQ pour établir une relation entre le till et l'assise rocheuse permettra de mieux caractériser les dépôts meubles en dehors des basses terres. On peut associer à ce domaine de recherche les travaux des géologues qui caractérisent les dépôts meubles en fonction du mouvement des glaciers en relation avec les sols que l'on observe (LaSalle et al 1985).

Caractérisation minéralogique des composés minéraux des sols

Étude des sables

La composition minéralogique des sables a été utilisée à plusieurs reprises pour évaluer l'intensité de l'altération dans divers horizons de

profils développés sur matériaux sableux (Ledoux 1968, Laverdière et Laflamme 1973, Ledoux et Trencia 1974, Mutwewingabo 1975, Pagé 1977). Le principe de la méthode repose sur une séparation des minéraux lourds et légers, la limite étant souvent choisie à une densité spécifique de 2,90 g/cc, puis sur l'identification du plus grand nombre possible de minéraux. Des pourcentages de minéraux sont ensuite obtenus par diffraction des rayons X pour les minéraux principaux (Laverdière et al 1981) ou mieux par comptage de grains sur lame mince. Enfin, à partir d'une échelle de stabilité relative des minéraux (Brewer 1974), il est possible d'estimer l'intensité de l'altération dans les profils. Le profil doit évidemment être homogène au départ, ce qui peut être établi de façon satisfaisante par les rapports de distribution des minéraux stables dans chaque horizon du profil. Un complément d'information est apporté par l'étude des cristaux sous le microscope et il a aussi été démontré que dans les conditions d'altération les plus intenses, même les grains de quartz peuvent être fissurés et corrodés (Pagé et al 1979). Dans les sols podzolisés, où l'altération est la plus forte, la technique permet d'obtenir des résultats intéressants, qui pourraient être étendus à d'autres types de sols.

Étude des phyllosilicates

Les phyllosilicates ne constituent pas nécessairement la fraction principale des sols, mais ils fournissent des informations sur le degré d'altération et d'évolution des sols. En effet, si on considère l'équation générale représentant l'évolution de la fraction minérale dans les conditions superficielles (Figure 1), il est clair que dans les sols très évolués seulement, les phyllosilicates seront en équilibre avec le milieu environnant (Grim 1968). Sous des conditions d'altération moins sévères, ils indiqueront le degré d'évolution des sols.

Une revue des travaux effectués au Canada sur la distribution des phyllosilicates et leur altération, a été présentée par Kodama (1979). À partir des données de la littérature disponible jusqu'en 1977, l'auteur a établi la fréquence d'observation des divers groupes de phyllosilicates dans les roches-mères des sols (Figure 2), et d'autre part, il a présenté

les principaux changements apparaissant dans les profils par suite de l'altération (Tableau 1). Le tableau a été complété pour le Québec à partir de résultats récents. Quelques conclusions tirées par Kodama méritent d'être soulignées:

- 1) les phyllosilicates dans les horizons profonds sont généralement hérités des roches-mères
- 2) les sols classés dans tous les ordres, sauf l'ordre podzolique, ont montré très peu de changements dus à l'altération dans les pédons, probablement à cause de la jeunesse des sols
- 3) dans les sols de l'ordre podzolique, on peut relier la composition des phyllosilicates à la genèse de ces sols.

La kaolinite a été identifiée dans beaucoup de sols de toutes les régions physiographiques. Sa composition chimique simple, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, la désigne comme un minéral caractéristique de fin de séquence d'altération, formé dans des conditions de lessivage marqué et en milieu acide. On pourrait donc la trouver fréquemment dans les horizons éluviaux des Podzols, mais ce n'est pas le cas (De Kimpe 1985). Une autre hypothèse a été élaborée au cours des dernières années, suite à l'analyse de divers saprolites dans l'Est du Canada et en Nouvelle-Angleterre. Une revue de ces travaux a été présentée par LaSalle et al (1985). La présence de dépôts profonds, fortement altérés et à teneur élevée en kaolinite sous une couverture de till, suggère que pendant certains interglaciaires mais plus probablement au Tertiaire, le climat fut plus chaud et plus humide que le climat actuel. Les conditions étaient alors propices à l'altération des minéraux. Lors de la glaciation wisconsinienne, les glaciers ont repris ces matériaux altérés et les ont incorporés aux autres débris qu'ils charriaient. C'est ainsi que la kaolinite est presque omniprésente en quantités très variables. Ces travaux de minéralogie ont aussi contribué à la compréhension de l'histoire climatique du Québec. Le caractère résiduel des dépôts profonds a été mis en évidence par leur position dans le paysage et les conditions de protection contre l'action des glaciers (Bouchard et Godard 1974, LaSalle et al 1985).

Caractérisation des composés organiques des sols

La quantité de matière organique présente dans les divers horizons des profils de sols est un des facteurs utilisés pour la classification des sols (Commission canadienne de Pédologie 1978). Les forestiers utilisent les concepts d'horizons mull, moder et mor et leurs variantes pour caractériser l'humus à la surface des sols (Bernier 1968).

La séparation de la fraction organique des sols et son fractionnement en acides fulviques et humiques ont été peu appliqués au Québec. Schnitzer et al (1981) sont les premiers à avoir généralisé une méthode pour caractériser la matière organique des sols en vue de classer ces derniers. Plus de connaissances sur les composantes de la matière organique des sols serait souhaitable car, de plus en plus, il paraît évident que la qualité de la matière organique dans les sols est plus importante que la quantité totale.

Quelques chercheurs se sont préoccupés de déterminer la résistance à la dégradation de la matière organique (Martel et LaSalle 1977). Ils ont utilisé la datation au radiocarbone naturel pour montrer la stabilité de la matière organique des sols (Tableau 2). Ainsi un âge supérieur à 1000 ans B.P. pour la partie non hydrolysable suggère que plus de 50% de la matière organique est très résistante. Le contenu total en matière organique augmente avec le pourcentage d'argile et varie de façon inverse avec la température moyenne au cours de la saison de végétation (De Kimpe et Martel 1985). Les variations de température moyenne et du contenu en argile expliquent 78% des variations de la teneur des sols en matière organique (Martel et Laverdière 1976). Ainsi deux sols de composition semblable avaient en moyenne 2,1% de carbone organique dans la région de Montréal et 5% dans la région du lac St-Jean (Tableau 3).

Le domaine des sols organiques a été abordé ailleurs au cours de ce symposium. Nous ne voulons cependant pas ignorer le travail qui se fait en vue de mieux caractériser les dépôts organiques pour une classification plus appropriée (Morita et Lévesque 1980).

GÈNÈSE DES SOLS - INTERACTION DES COMPOSÉS

Matière organique et gène des sols

C'est surtout dans les sols appartenant à l'ordre Podzologique et dans une moindre mesure dans ceux de l'ordre Brunisolique que l'on observe un rôle prépondérant des composés organiques dans le développement des profils. Dans les autres ordres, le contenu total en matière organique intervient plutôt au niveau de la classification.

Les produits de décomposition de la matière organique contribuent à altérer les minéraux primaires et secondaires (Kodama et al 1983). De plus, les acides humiques et fulviques, ainsi que d'autres acides organiques plus simples présents dans les sols, forment des complexes organo-métalliques avec Fe et Al (Robert et al 1979). Ces complexes migrent puis s'accumulent dans les horizons profonds du profil. Plusieurs auteurs ont étudié cette capacité de former des complexes (Hubert et Gonzalez 1970, Gonzalez et Hubert 1972, De Kimpe et Martel 1976, Gonzalez et al 1977). Le type de végétation a un effet sur la mobilité relative des complexes aluminiques et ferriques dans le profil (De Kimpe et Martel 1976). Or le pourcentage de ces complexes accumulés dans le ou les horizons B est un critère chimique essentiel pour définir l'horizon B podzologique (Commission canadienne de Pédologie 1978). Les travaux réalisés sur les Podzols du Québec ont certainement contribué à préciser les limites de l'horizon podzologique et à chercher une meilleure relation avec l'horizon spodique dans le système américain (Baril et Tran 1977, McKeague et al 1983).

Le climat est un facteur important de contrôle sur la décomposition de la matière organique et donc sur le degré de développement des profils. Des études effectuées dans le nord québécois (Payette 1973, Moore 1974, Nicholson et Moore 1977, Hendershot 1985) ont montré que la quantité de complexes organo-métalliques formés, transportés et accumulés dans les horizons B était moindre que dans le Québec méridional et donc plus de profils appartiennent à l'ordre Brunisolique.

Depuis quelques années, il est apparu qu'à côté du transfert des complexes organo-minéraux, il y avait aussi migration de matières essentiellement minérales dans les Podzols. La protoimogolite et l'imogolite seraient deux formes particulières (Farmer 1981) dont l'identification se fait surtout bien au microscope électronique. Elles ont été observées dans les horizons BC de Podzols au nord de Baie-Comeau (Wang et al 1985) mais paraissent moins fréquentes dans les Podzols situés plus au sud à cause de l'abondance de matière organique.

Horizons indurés et partiellement cimentés

On trouve des horizons partiellement ou totalement cimentés ainsi que des horizons indurés dans toutes les régions physiographiques du Québec (Dubois et al 1985). La genèse de ces horizons a été étudiée pour améliorer le système de classification des sols (Commission canadienne de Pédologie 1978) mais aussi dans un but plus pratique. En effet, le problème du concrétionnement peut se poser dans des sols agricoles après qu'on y a installé des systèmes de drainage souterrain (Gaudette et Millette 1975).

Il est utile de rappeler brièvement quelques propriétés de ces horizons. La cimentation peut être irréversible comme dans l'ortstein, les horizons placiques et duriques, les concrétions, ou bien réversible comme dans l'horizon fragile. Le degré de réversibilité dépend essentiellement de la nature des ciments et se mesure par le comportement d'une motte de sol dans l'eau. Avec des ciments composés de fer, d'aluminium, de silice, parfois complexés à de la matière organique, le fragment de sol ne se délite pas dans l'eau. Lorsque ce sont des minéraux argileux qui assurent la cimentation, il y a délitement. On peut illustrer ceci par des résultats de Pagé et al (1979) pour des sols à horizons plus ou moins cimentés (Tableau 4). Les composés non-argileux, même en faible pourcentage, sont très importants pour la cimentation (Pagé et al 1980). Par contre, l'argile est le liant principal dans l'horizon fragile (De Kimpe et al 1976). Dans ce dernier, il y a accumulation d'argile fine néoformée (De Kimpe 1970) ou transportée, qui peut être mise en évidence par des

analyses granulométriques (Rochefort 1969, De Kimpe et al 1972) ou microscopiques (Wang et al 1974). Cependant, la micromorphologie permet de mieux montrer les accumulations (De Kimpe et McKeague 1974, Mutwewingabo et al 1975, Pagé et al 1979, Pagé et al 1980). La micromorphologie a aussi été mise à profit par Fédoroff et al (1981) pour illustrer les processus de transferts de particules dans les sols podzoliques. Il a ainsi été montré que dans des matériaux de texture sableuse grossière, des particules jusqu'à la dimension des sables fins sont susceptibles de migrer dans le profil. Les particules en mouvement sont fréquemment associées à de la matière organique (Gaudette et Millette 1975) et on observe des nodules de nature complexe. Les analyses ultramicroscopiques, micromorphologiques et chimiques ont permis d'établir une relation étroite entre l'ultramicrostructure du matériel liant les horizons cimentés et le pourcentage relatif des agents liants (Pagé et Berrier 1983).

L'étude de quelques sols des Laurentides (Mutwewingabo et al 1975) a permis de qualifier comme fragiques des horizons indurés, sur la base d'un assemblage porphyroscellé et d'un pourcentage assez élevé d'argile. Par contre l'absence de délitement dans l'eau et le délitement obtenu après extraction de ciments aluminiques dans le citrate de Na, ne correspondaient pas parfaitement à la définition de l'horizon fragique. De nombreux sols du Québec paraissent renfermer de tels horizons faiblement cimentés, intermédiaires entre les horizons fragiques, duriques et à ortstein (Pagé et al 1979).

Un raisonnement comparable peut également s'appliquer aux sols à horizons fragiques. Dans de tels sols formés sur loess, aux États-Unis, l'extraction de quantités importantes, jusque 3,7% de silice permet de croire à une contribution importante de ce ciment dans la formation du fragipan (Steinhardt et al 1982). Une réévaluation de cette hypothèse dans les sols du Québec, a été faite en utilisant des réactifs permettant d'extraire un maximum de silice libre (De Kimpe et al 1983). Les quantités extraites ne permettent pas de définir des rapports SiO_2 :argile supportant cette hypothèse (Tableau 5), mais il ne faudrait pas complètement

ignorer la contribution des matériaux amorphes dans la genèse de l'horizon fragique.

La solution du sol et la genèse des sols

La géochimie des solutions est un aspect particulier de la genèse des sols. Le transfert de cations et de particules se fait par l'eau du sol. Nous avons déjà rapporté l'effet d'un abaissement de la nappe phréatique sur le développement des concrétions. Plusieurs études sont actuellement en cours pour étudier la nappe et ces études permettront aussi d'interpréter le développement des sols.

Dans les situations de pentes et de bassins versants, il est nécessaire de considérer le mouvement latéral de l'eau dans le sous-sol. Une relation a été observée entre le degré de podzolisation, l'altération et le lessivage de l'argile, l'entraînement des bases et de l'argile, le long d'une longue pente de la région de Québec (De Kimpe et al 1974). Bouchard (1983) a étudié la composition de la solution prélevée à des profondeurs variables dans des profils d'un bassin versant à Sherbrooke. L'aluminium est mis en solution dans les sites acides de haut de pente, la concentration maximale en fer dans la solution correspond aux horizons influencés par le battement de la nappe, alors que les teneurs en H_4SiO_4 , Na^+ et Mg^{2+} sont liées au volume de sol traversé par l'eau. Hendershot et al (1984) ont trouvé une relation entre la quantité d'aluminium dans un ruisseau collecteur d'un bassin versant et les horizons traversés par l'eau. Pagé (communication personnelle 1985) étudie le mouvement de l'eau dans une microtoposéquence pour interpréter la genèse des profils.

Une extension de ces études aidera à comprendre l'évolution des sols sur des roches-mères très diversifiées en fonction des conditions particulières de microsites (Dejou et al 1982).

Mise en culture et genèse des sols

La mise en culture peut engendrer des modifications considérables par

rapport à des sols semblables laissés à l'état naturel et il faut donc inclure le facteur anthropique dans les processus de la genèse.

L'abaissement de la nappe phréatique suite au drainage a favorisé l'apparition des concrétions dans divers sols (Gaudette et Millette 1975). Bien que le contenu en concrétions n'était pas très élevé, il indique un problème potentiel: la composition des concrétions par rapport à celle du sol meuble (Tableau 6) suggère que l'accumulation de tels matériaux pourrait causer la cimentation de certains horizons. La mise en culture de sols podzoliques a causé des modifications dans le profil, à cause par exemple de la formation d'un horizon Ap aux dépens des horizons Ae et Bf, et les profils présentaient des caractères des Brunisols et même des Luvisols (Millette, Léger et Bailey 1980).

Les pratiques culturales ont un effet important sur la matière organique des sols. La culture prolongée modifie la quantité et la qualité de la matière organique. Une baisse résulte en une diminution des agrégats stables (Martel et Deschênes 1976, Martel et Mackenzie 1980). Des particules argileuses provenant des agrégats décomposés ainsi que les particules fines résultant de la comminution des grains de sable par les engins agricoles peuvent migrer dans les profils. Il y a formation d'horizons agriques et de sols à caractère de luvisol (Seddyk 1977, 1980).

Le modelage des planches pour les grandes cultures, au cours duquel les horizons superficiels sont parfois complètement déplacés (De Kimpe et al 1981) ainsi que l'érosion des sols portant des cultures sarclées (Pesant 1979) réduisent l'épaisseur de la couche arable et peuvent redonner à des sols cultivés un caractère de régosol.

Dans les sols cultivés, il n'est pas toujours possible de retrouver la concordance avec le sol vierge et, tant au point de vue de la genèse que de celui de la classification, ces sols peuvent être parfois considérés comme des entités différentes.

CONCLUSION

Les connaissances acquises au cours des dernières décennies sur la genèse, l'évolution et la classification des sols ont contribué à mieux évaluer la fertilité potentielle des sols et à définir leur aménagement. L'image globale que nous en avons n'est certes pas encore parfaite et il sera nécessaire de poursuivre les recherches dans divers domaines. Les aspects que nous avons décrits précédemment en sont des exemples. Le sol est généralement considéré comme une ressource renouvelable, mais elle n'est pas illimitée et ne se renouvelle qu'à très long terme. Il faut donc souhaiter que les résultats des études passées et futures seront de plus en plus interprétés dans le sens de la conservation. Les études sur la genèse et la classification des sols ont plus qu'une portée académique, le défi est sans doute de les transposer plus et mieux vers les utilisateurs de cette ressource.

- Baril, R. et Rochefort, B. 1965. Étude pédologique du comté de Kamouraska. Min. Agr. Can., Fac. Agr. Univ. Laval et Min. Agr. Québec. 156 p.
- Baril, R.W. et Tran, T.S. 1977. Étude sur la valeur des critères chimiques proposés par la Commission pédologique du Canada pour la classification taxonomique des sols du Québec. Can. J. Soil Sci. 57: 233-247.
- Bernier, B. 1968. Esquisse descriptive de la classification des humus forestiers. Rep. CSSS annual meet. 18 p.
- Bouchard, M. 1983. Influences stationnelles sur l'altération chimique des sols dérivés de till (Sherbrooke, Québec, Canada). Catena 10: 363-382.
- Bouchard, M. et Godard, A. 1984. Les altérites du bouclier canadien: premier bilan d'une campagne de reconnaissance. Géog. Phys. et Quat. 38: 149-163.
- Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. T. Wiley and Sons, New-York, p. 88-96.
- Brydon, J.E. and Patry, L.M. 1961. Mineralogy of Champlain sea sediments and a Rideau clay soil profile. Can. J. Soil Sci. 41: 169-181.

- Commission canadienne de Pédologie 1978. Le système canadien de classification des sols. Min. Agr. Can. Publ. 1646. Approv. et Services Canada, Ottawa, 170 p.
- Dejou, J., Clément, P. et De Kimpe, C.R. 1982. Importance du site dans la genèse des minéraux secondaires issus des altérations superficielles. Exemple des granites et gabbros du Mont Mégantic, Québec, Canada. *Catena* 9: 181-198.
- De Kimpe, C.R. 1970. Chemical, physical and mineralogical properties of a podzol with fragipan derived from glacial till in the province of Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 50: 317-330.
- De Kimpe, C.R. 1985. Evolution of forest soils of Quebec under acid pH conditions. Proc. symposium on acid rain, Quebec 1983, in press.
- De Kimpe, C.R., Baril, R. and Rivard, R. 1972. Characterization of a toposequence with fragipan: the Leeds-Ste-Marie-Brompton series of soils, province of Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 52: 135-150.
- De Kimpe, C.R., Bourbeau, G.A. and Baril, R. 1976. Pedological aspects of till deposits in the province of Quebec pp. 156-169 in *Glacial Till*, R.F. Legget, ed. Royal Soc. of Can. Spec. Publ. n° 12, Ottawa.
- De Kimpe, C.R. and Laverdière, M.R. 1982. Dissolution of organometallic complexes and silica from the clay fraction of Podzolic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 13: 387-400.
- De Kimpe, C.R., Laverdière, M.R. and Dejou, J. 1983. Distribution of silica, sesquioxides, and clay in Quebec podzolic soils and their effects on subsoil cementation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 838-840.
- De Kimpe, C.R., Laverdière, M.R. et Zizka, J. 1981. Effet du modelage des champs sur l'hétérogénéité des sols et les rendements en maïs-grain. *Can. J. Soil Sci.* 61: 225-236.
- De Kimpe, C.R. and Martel, Y.A. 1976. Effects of vegetation on the distribution of carbon, iron and aluminum in the B horizons of Northern Appalachian Spodosols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 77-80.
- De Kimpe, C.R. et Martel, Y.A. 1985. La matière organique et la structure des sols. Rapport CPVQ de la journée d'information sur la conservation des sols, 55-73.

- De Kimpe, C.R. and McKeague, J.A. 1974. Micromorphological, physical and chemical properties of a podzolic soil with a fragipan, *Can. J. Soil Sci.* 54: 29-38.
- De Kimpe, C.R., McKeague, J.A. and Topp, G.C. 1974. Soil properties in relation to water regime at a site near Quebec city. *Can. J. Soil Sci.* 54: 427-446.
- Delage, P. 1979. Étude du milieu poreux et de la texture d'argiles sensibles du Québec. Thèse Éc. Nat. Sup. des Mines. Paris, 133 p.
- Dubois, J.M., Martel, Y.A., Côté, D., Nadeau, L. 1985. Les orsteins du Québec: répartition géographique, relations géomorphologiques et essai de datation. *Can. J. Soil Sci.* (sous presse).
- Farmer, V.C. 1981. Possible roles of a mobile hydroxyaluminium orthosilicate complex (proto-imogolite) and other hydroxyaluminium and hydroxy-iron species in podzolisation. 275-279 in "Migrations organo-minérales dans les sols tempérés. Coll. Int. CNRS n° 303, Nancy, 1979.
- Fedoroff, N., De Kimpe, C.R., Pagé, F. et Bourbeau, G. 1981. Essai d'interprétation des transferts sous forme figurée dans les podzols du Québec méridional à partir de l'étude micromorphologique des profils. *Geoderma* 26: 25-45.
- Foscal-Mella, G. 1976. Analyse minéralogique des argiles glaciaires. Thèse de maîtrise école polytechnique, Montréal, 148 p.
- Gaudette, A. et Millette, G.J.F. 1975. Propriétés chimiques et physiques des concrétions dans certains sols du Québec. *Can. J. Soil Sci.* 55: 269-278.
- Gonzalez, A., Boudoux, M. et Hubert, G. 1977. Étude par l'analyse en composantes principales des propriétés chimiques d'un sol forestier 10 ans après l'éclaircie. *Can. J. Soil Sci.* 57: 147-156.
- Gonzalez, A. et Hubert, G. 1972. Propriétés chimiques et physiques de la matière organique nondialysable extraite de quatre podzols du Québec. *Can. J. Soil Sci.* 52: 1-17.
- Grim, R. 1968. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill, New-York, 596 p.
- Hashimoto, I. and Jackson, M.L. 1960. Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. *Clays Clay Min.* 7: 102-113.

- Hendershot, W.H. 1985. A comparison of some upland and valley soils in the Ungava-Labrador peninsula. *Geogr. Phys. et Quat.* (sous presse).
- Hendershot, W.H., Lalande, H. and Dufresne, A. 1984. Aluminum speciation and movement in three small watersheds in the southern Laurentians. *Water Poll. Res. J. Can.* 19: 11-26.
- Hubert, G. et Gonzalez, A. 1970. Extraction et répartition du fer et de l'aluminium liés à la matière organique dans quatre podzols du Québec. *Can. J. Soil Sci.* 50: 281-290.
- Keele, J. 1915. Preliminary report on the clay and shale deposits of the province of Quebec. *Memoir 64.* Canada Department of Mines Ottawa, 280 pp.
- Kodama, H. 1979. Clay minerals in Canadian soils. Their origin, distribution and alteration. *Can. J. Soil Sci.* 59: 37-58.
- Kodama, H., Schnitzer, M. and Jaakkimainen, M. 1983. Chlorite and biotite weathering by fulvic acid solutions in closed and open systems. *Can. J. Soil Sci.* 63: 619-629.
- Lajoie, P. 1974. Les coulées d'argile des basses-terrasses de l'Outaouais, du Saint-Laurent et du Saguenay. *Rev. Géogr. Montr.* 28: 419-428.
- Lajoie, P. 1975. Les terres agricoles du Québec méridional: distribution, étendue, qualité. *Public. 1556, Agriculture Canada, Ottawa*, 62 p.
- Landry, B. et Mercier, M. 1983. *Notions de Géologie.* Modulo Éditeur, Outremont, Québec. 426 p.
- LaSalle, P., De Kimpe, C.R. et David, P. 1985. Soil development in Southern Gaspésie Peninsula in relation to last glaciation events. *Abstr. Ann. Meet. GAC-MAC, Fredericton* p. A 33.
- LaSalle, P., De Kimpe, C.R. and Laverdière, M.R. 1985. Sub-till saprolites in southeastern Quebec and adjacent New England: erosional, stratigraphic and climatic significance. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper* 197: 13-20.
- Laverdière, M.R., De Kimpe, C.R. et d'Avignon, A. 1981. Caractéristiques minéralogiques et chimiques de quelques sols sableux du Québec en regard de leur évolution pédologique. *Can. J. Soil Sci.* 61: 273-283.

- Laverdière, M.R. et Laflamme, G.Y. 1973. Quelques propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des séries de sol Chaloupe et Batiscan reliées à leur évolution pédogénétique. *Nat. Can.* 100: 407-421.
- Ledoux, R. 1968. Étude de la composition minéralogique et de l'altération des minéraux dans un profil de sol de la série des sables St-Jude, comté de St-Hyacinthe. *Nat. Can.* 95: 1301-1326.
- Ledoux, R. et Trencia, J. 1974. Mineralogical composition of fine sand fraction of the Laurentide soils, p. 31 in "A visit to Montmorency Forest". 4th North Amer. Forest soils conf. Laval, ed. by B. Bernier.
- Locat, J., Lefebvre, G. and Ballivy, G. 1984. Mineralogy, chemistry and physical properties interrelationships of some sensitive clays from Eastern Canada. *Can. Geotech. J.* 21: 530-540.
- Martel, Y.A. et Deschênes, J.M. 1976. Les effets de la mise en culture et de la prairie prolongée sur le carbone, l'azote, et la structure de quelques sols du Québec. *Can. J. Soil Sci.* 56: 373-383.
- Martel, Y.A. and LaSalle, P. 1977. Radiocarbon dating of organic matter from a cultivated top soil in eastern Canada. *Can. J. Soil Sci.* 57: 375-377.
- Martel, Y.A. et Laverdière, M.R. 1976. Facteurs qui influencent la teneur de la matière organique et les propriétés d'échange cationique des horizons Ap des sols de grande culture du Québec. *Can. J. Soil Sci.* 56: 213-221.
- Martel, Y.A. and Mackenzie, A.F. 1980. Long term effects of cultivation and land use on soil quality in Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 60: 411-420.
- McKeague, J.A., Wang, C., Coen, G.M., De Kimpe, C.R., Laverdière, M.R., Evans, L.J., Kloosterman, B. and Green, J. 1983. Testing chemical criteria for spodic horizons on podzolic soils in Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 1052-1053.
- Mehra, O.P. and Jackson, M.L. 1960. Iron oxide removal from soil and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Min.* 7: 317-327.
- Milette, G.J.F., Léger, R.G. and Bailey, R.E. 1980. A comparative study of physical and chemical properties of two cultivated and forested orthic podzols. *Can. J. Soil Sci.* 60: 707-719.

- Moore, T.R. 1974. Pedogenesis in a subarctic environment: Cambrian Lake, Quebec. *Arct. Alp. Res.* 6: 281-291.
- Morita, H. and Levesque, M. 1980. Monosaccharide composition of peat fractions based on particle size. *Can. J. Soil Sci.* 60: 285-289.
- Mutweringabo, B. 1975. Propriétés micromorphologiques, physiques, chimiques et minéralogiques de deux sols podzoliques laurentidiens à horizons fragiques et d'orstein. Leur classification et genèse. Thèse de maîtrise. Univ. Laval. 192 p.
- Mutweringabo, B., De Kimpe, C.R., Bourbeau, G.A., Baril, R.W. et Lajoie, P. 1975. Étude comparative de sols des Laurentides, Québec. *Can. J. Soil Sci.* 55: 363-379.
- Nicholson, H.M. and Moore, T.R. 1977. Pedogenesis in a subarctic iron-rich environment: Schefferville, Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 57: 35-45.
- Pagé, F. 1977. Étude minéralogique, physique, chimique et morphologique de deux sols podzoliques du Québec, à horizons indurés en profondeur. Thèse de maîtrise. Univ. Laval 217 p.
- Pagé, F. et Berrier, J. 1983. Composition du matériel liant dans des horizons à ortstein, duriques, fragiques et cimentés intergrades du Québec. *Can. J. Soil Sci.* 63: 435-463.
- Pagé, F., De Kimpe, C.R., Bourbeau, G.A. et Rompré, M. 1980. Formation d'horizons cimentés dans les sols sableux du delta des rivières Manicouagan et Outardes, Québec. *Can. J. Soil Sci.* 60: 163-175.
- Pagé, F., Rompré, M., Bourbeau, G.A. et De Kimpe, C.R. 1979. Genèse d'un horizon profond faiblement cimenté dans un podzol sableux des basses terres du Québec. *Can. J. Soil Sci.* 59: 105-117.
- Payette, S. 1973. Contribution à la pédologie de la zone hém-arctique: région de Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec. *Nat. Can.* 100: 123-163.
- Pedro, G. 1979. Les conditions de formation des minéraux secondaires. pp. 58-72 dans *Pédologie*, M. Bonneau et B. Souchier eds., Masson, Paris.
- Pesant, A. 1979. The effectiveness of erosion control in no-till corn production. 8th Int. Conf. Soil Tillage Res. Org. Bundesrepublik Deutschland.

- Robert, M., Razzaghe, M.K., Vicente, M.A. et Veneau, G. 1979. Rôle du facteur biochimique dans l'altération des minéraux silicatés. *Science du Sol*, n° 2-3, 153-174.
- Rocheftort, B. 1969. Évolution pédogénétique du profil à fragipan dans la caténa des sols Arago, Garneau, Lafontaine. Thèse Maîtrise, Univ. Laval.
- Schnitzer, M., Lowe, L.E., Dormaar, J.F. and Martel, Y.A. 1981. A procedure for the characterization of soil organic matter. *Can. J. Soil Sci.* 61: 517-519.
- Seddyk, E.A. 1977. A study of agric horizons in Quebec soils. MSc Thesis, Macdonald College. 96 p.
- Seddyk, E.A. 1980. A study of the development of agric horizons in Quebec soils. PhD thesis, Macdonald College, McGill University.
- Steinhardt, G.C., Franzmeier, D.P. and Norton, L.D. 1982. Silica associated with fragipan and non-fragipan horizons. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 656-657.
- Wang, C., McKeague, J.A. and Kodama, H. 1984. The occurrence of imogolite in some spodosols of Quebec. *Ann. Meet. Soil Sci. Soc. Am. Abstr.* 241.
- Wang, C., Nowland, J.L. and Kodama, H. 1974. Properties of two fragipan soils in Nova Scotia including scanning electron micrographs. *Can. J. Soil Sci.* 54: 159-170.
- Yong, R.N., Sethi, A.J. and LaRochelle, P. 1979. Significance of amorphous material relative to sensitivity in some Champlain clays. *Can. Geotech. J.* 16: 511-520.

Tableau 1. Caractéristiques des phyllosilicates dans les pedons des divers ordres de sols et dans les régions physiographiques du Québec (selon Kodama 1979)

Classification des sols (ordre)	Caractéristiques des phyllosilicates	Régions physiographiques*		
		Bouclier	Basses-Terres	Appalaches
Luvisolique	(1) A peu près aucun changement	X	†	
	(2) Renforcement modéré des minéraux gonflants dans les horizons superficiels			X
Podzolique	(1) Disparition complète ou presque complète de la chlorite et formation de minéraux gonflants, en surface présence de chlorite	†	†	X
	(2) Présence de chlorite détritique et de minéraux gonflants, en surface		X	
Brunisolique	(1) Très peu de changement			X
	(2) Renforcement modéré des minéraux gonflants dans les horizons de surface		X	
Gleysolique	(1) Changements minimes		†	
	(2) Faible renforcement des minéraux gonflants dans les horizons de surface		X	X

X: données de Kodama

†: résultats postérieurs à 1977

Tableau 2. Ages apparents de la matière organique provenant de
l'horizon Ap du sol Kamouraska (Martel et LaSalle 1977)

Fractions	% du C total du sol	Age apparent (ans B.P.)
Sol total	100	moderne
Acides fulviques	24	moderne
Acides humiques	17	1220 ± 150
Humine	59	180 ± 100
Fraction hydrolysable	41	moderne
Fraction non-hydrolysable	59	1530 ± 100

Tableau 3. Moyennes en % de C et N et des rapports C/N pour quatre régions thermiques du Québec (d'après Martel et Laverdière (1976))

Région	Unités thermiques mais	Carbone (%)	Azote (%)	C/N
Lac St-Jean	2 000	5.0 a	0.35 a	15.0 a
Québec	2 250	4.3 a	0.31 ab	14.2 a
Cantons de l'Est	2 500	2.7 b	0.21 bc	12.9 a
Montréal	2 700	2.1 b	0.18 c	11.7 a

Tableau 4. Pourcentage des "ciments", pourcentage relatif des principaux constituants des ciments et assemblage micromorphologique des horizons profonds de quelques sols du Québec (Pagé et al. 1979)

Nom du sol	Horizons	Ciments		Pourcentages relatifs					Al.cit. meq/100 g d'argile	Assemblage micromorphologique
		Argile %	Chimiques %	Argile ($< 2\mu$)	MO	Fe ₀	Al ₀	Si ₀		
Beaurivage	BCcj1	9.5	0.7	93.2	4.8	1.0	1.0	tr	169	chlamydique/plectique
	BCcj2	6.9	1.2	85.2	6.2	2.5	4.9	1.2	358	chlamydique/plectique
Manicouagan	II BCc1	9.5	0.8	92.2	3.4	0.1	3.3	1.0	289	chlamydique/plectique
	II BCc2	7.9	0.7	92.1	2.8	0.8	3.2	1.1	383	chlamydique/plectique
Jacques-Cartier	III BCx	0.2	1.0	15.4	31.1	23.2	15.6	14.7	167	chlamydique/plectique
	IV Cx	0.1	0.6	13.4	27.0	27.0	13.6	19.0	378	chlamydique/plectique
Laurentides	Cx	1.6	1.9	41.7	27.0	12.9	15.3	3.1	n.d.	fragmoïdique en bande
Duchesnay	BCx	1.6	1.0	63.3	12.7	8.5	12.7	2.8	300	porphyrosquelique
Leeds	Btxgl	12.9	0.6	95.6	0.9	2.3	0.9	0.3	52	porphyrosquelique
Arago	Btx	15.1	1.1	93.2	0.6	3.8	2.0	0.4	29	porphyrosquelique

Tableau 5. Propriétés chimiques de quelques horizons de trois sols podzoliques (De Kimpe et al. 1983)

horizon	Argile	C org	DCB(1)			DCB 1:1 (2)			NaOH (3)		SiO ₂ :argile			
			Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	(1)	(2)	(3)	
														(%)
<u>Arago</u>														
		loam												
Ae	16.7	1.61	0.67	0.11	0.13	0.69	0.40	1.08	0.26	0.79	0.01	0.06	0.05	
Bf ₁	29.3	3.79	3.07	1.13	0.15	3.72	1.83	1.43	1.55	0.68	0.01	0.05	0.02	
A'e	20.8	0.20	1.07	0.23	0.12	1.30	0.66	0.97	0.85	0.91	0.01	0.05	0.04	
Btx ₁	23.9	0.15	1.43	0.17	0.19	1.59	0.68	1.46	0.60	0.92	0.01	0.06	0.04	
Cx	24.0	0.11	1.43	0.18	0.20	1.72	0.66	1.32	0.60	0.89	0.01	0.06	0.04	
<u>Sainte Agathe</u>														
		loam												
Ahe	11.5	3.65	1.13	0.34	0.14	1.22	0.53	1.34	0.40	1.01	0.01	0.12	0.09	
Bhf	19.7	7.67	5.18	2.89	0.32	5.78	3.19	1.57	2.89	0.79	0.02	0.08	0.04	
A'e	16.3	1.40	0.92	1.11	0.31	1.02	1.72	1.66	2.51	2.27	0.02	0.10	0.14	
Btx _j	19.6	0.67	1.16	1.00	0.30	1.47	1.87	2.14	3.23	3.40	0.02	0.11	0.17	
Cx _{j1}	5.4	0.12	0.43	0.21	0.13	0.51	0.53	1.36	0.51	0.70	0.02	0.25	0.13	
<u>Calder</u>														
		loam sableux												
Ae	6.9	1.78	0.37	0.02	0.11	0.34	0.36	0.89	0.13	0.58	0.02	0.13	0.08	
Bhf ₂	15.7	5.56	5.22	2.29	0.26	6.06	2.85	1.31	2.34	0.43	0.02	0.08	0.03	
BC ₁	4.8	1.00	0.87	0.64	0.20	0.97	1.13	1.20	1.02	0.71	0.04	0.25	0.15	
C ₁	4.0	0.09	0.79	0.21	0.13	0.87	0.47	0.86	0.49	0.51	0.03	0.22	0.13	

(1) DCB: dithionite-citrate-bicarbonate selon Mehra et Jackson (1960)

(2) DCB 1:1: méthode de Mehra et Jackson telle que modifiée par De Kimpe et Laverdière (1982)

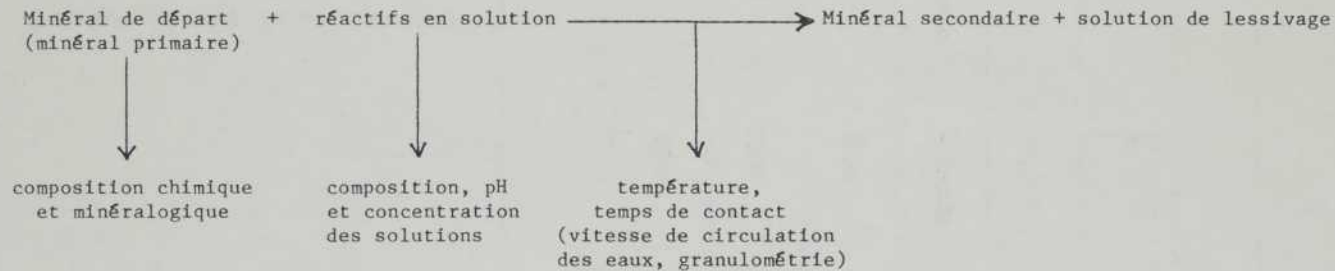
(3) NaOH: méthode de Hashimoto et Jackson (1960)

Tableau 6. Propriétés physiques et chimiques (valeurs moyennes) des concrétions et du sol meuble dans 10 profils (d'après Gaudette et Milette 1975).

	densité apparente (g/cc)	humidité hygroscopique (%)	matière organique (%)	Fe*			Al*		Mn*		Si*	
				d	o	p	d	o (%)	d	o	d	o
Sols	1.44	1.00	3.10	0.79	0.46	0.07	0.18	0.22	0.13	0.12	0.19	0.08
Concrétions	2.57	1.40	4.70	6.04	4.38	0.27	0.44	0.37	0.28	0.23	0.24	0.15

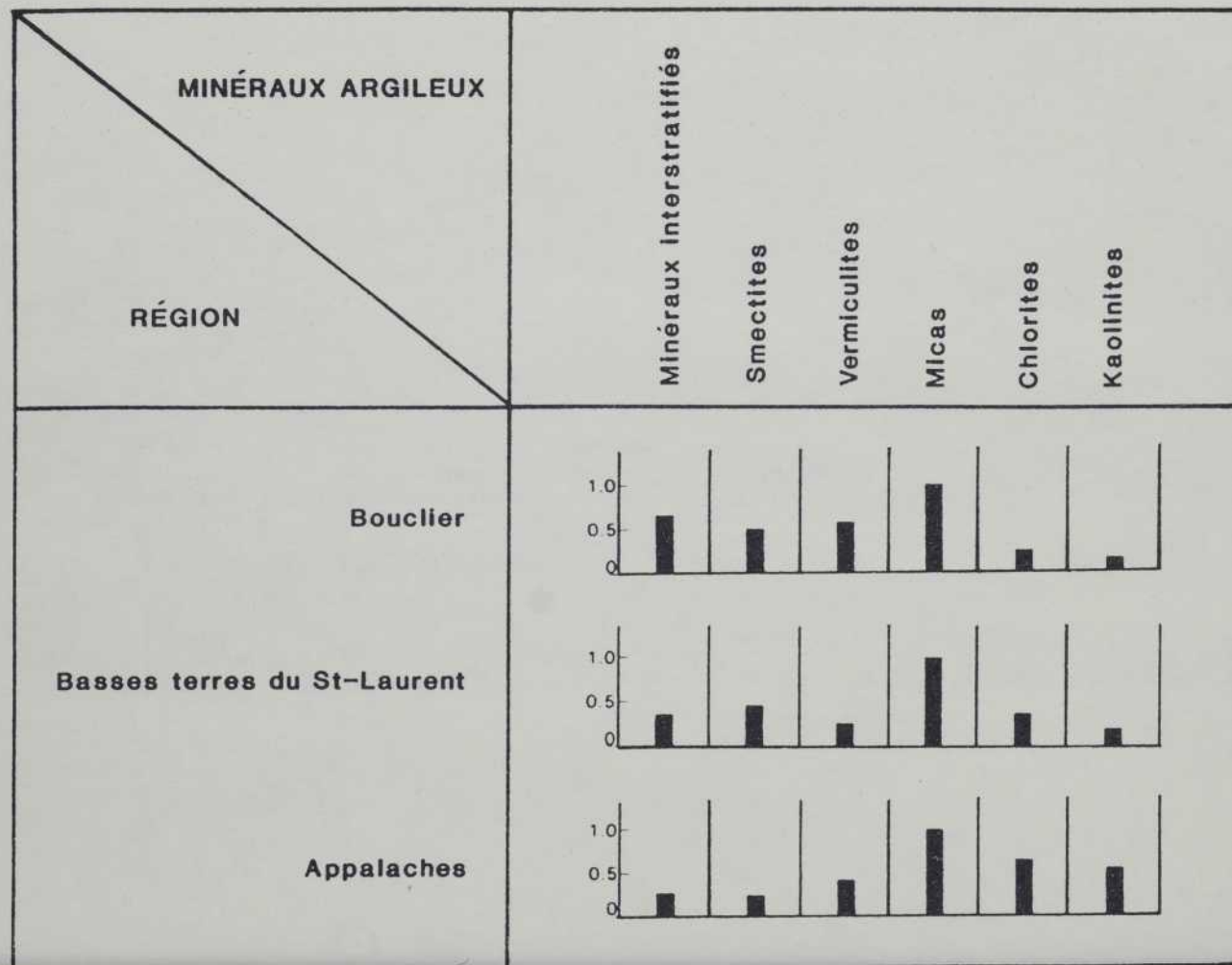
* d = diethionite-citrate-carbonate; o = oxalate; p = pyrophosphate

Figure 1



d'après Pedro (1979)

Figure 2



Conférence présentée au 53^e Congrès de l'ACFAS à Chicoutimi
dans le cadre du colloque sur la rétrospective de la recherche
sur les sols au Québec.

Physique et conservation des sols

par

Denis Côté, agronome

Service de recherche en sols

MAPAQ

Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs,

Même si depuis un mois, j'avais chaque jour, visité tous les musées du Québec, je n'en aurais trouvé aucun qui puisse m'aider dans l'élaboration de cette présentation sur l'historique de la recherche en physique et en conservation des sols. Cette idée de musée m'a mis sur une bonne piste quand même. Elle m'a rappelé que ma boîte à diapositives bien rangée dans un classeur de mon bureau pouvait peut-être receler de témoins photographiques des "époques" de la recherche en physique et conservation des sols. En effet des photos vieilles d'une quinzaine d'années m'ont paru "historiques". L'étape suivante fut celle où au bout du fil téléphonique ou à l'occasion de réunions à Québec, des confrères m'ont livré et je les en remercie, leurs secrets historiques et sans le savoir, leur âge vénérable. Dans cette brève rétrospective, mon intention est de relier ces quelques faits aux personnes qui ont été au coeur des réalisations en ce domaine en reconstituant l'histoire par étapes de 10 ans.

1950-60

Au début des années 50, le Québec connaît une agriculture qui fait peu appel à la recherche en physique et en conservation des sols. Les cultures sarclées sont réalisées sur les sols les plus propices de la ferme et avec une maîtrise presque parfaite des pratiques culturales peu mécanisées. Les interventions en drainage, défrichement, modelage du terrain, fumure et chaulage sont parcimonieuses et longuement planifiées. Les cultures sont choisies en fonction des propriétés favorables des sols.

Vers 1955, l'intérêt pour la recherche en physique du sol apparaît en même temps que l'essor de mécanisation des travaux de défrichement et de

mise en valeur des terres. Les progressistes ont flairé rapidement les possibilités d'intervention des gros engins motorisés (bulldozer, charrue géante, draineuse et niveleuse) sur le profil cultural du sol. Les pédologues conservateurs ont voulu eux aussi expérimenter les façons culturales les plus propices à la conservation du sol. Les essais au champ sur argile limoneuse abitibienne à Guyenne par l'équipe Lessard, Bourget, Hamilton et Lévesque allaient pour une première fois démontrer la nécessité de vérifier sous nos conditions climatiques et édaphiques, les façons culturales de gros labours qui nous venaient des Etats-Unis. Jean-Marie Fortin de la Faculté d'agriculture de La Pocatière s'intéresse lui aussi au défoncement des argiles de l'Abitibi à cette époque.

A la fin des années 50, la première station de mesure de l'érosion est établie dans Charlevoix par la Faculté d'agriculture de La Pocatière. L'exploration pédologique avait auparavant révélé une activité importante du phénomène de l'érosion dans cette région. Dans les parcelles de Cap-aux-Corbeaux ont été expérimentées durant une douzaine d'années des pratiques culturales dites de conservation telles que: paillage, culture en travers de la pente, rotation et prairies permanentes.

1960-70

La physique du sol et la conservation du sol sont enseignées aux niveaux sous-gradués et gradués aux deux facultés d'agriculture par Sylvio Bourget puis André Bentz à Laval et Benito Warkentin à Macdonald College.

Une deuxième station d'expérimentation sur la conservation des sols est installée à Saint-Coeur-de-Marie au Lac Saint-Jean en 1963 par les pédologues Auguste Mailloux et Armand Dubé de la Division des sols du MAPAQ. Les pratiques courantes de planage, de décapage et de nivellement des côtes à l'aide du bulldozer sont dénoncées par ces derniers et des améliorations sont proposées.

En 1968 et 1969, une première étude détaillée des propriétés physiques et hydrodynamiques du sol de la série Ste-Rosalie, est effectuée par Claude Charretier, coopérant militaire français. Cette étude nous a fait découvrir l'absence grave de données pour caractériser nos séries de sol au Québec.

L'expansion de la monoculture du maïs-grain débute dans ce que l'on appellera plus tard la région à maïs du Québec (plaine du St-Laurent à l'ouest de Drummondville). C'est la première monoculture d'une plante sar-

clée sur une grande étendue dans des sols qui n'avaient connu jusque là que rotations et prairies. Les sols les plus favorables furent exploités en premier. Il ne semble pas que des problèmes de dégradation des propriétés physiques du sol par la monoculture du maïs retiennent l'attention des spécialistes à cette époque.

1970-80

Les départements de Génie rural de Laval et Macdonald College entreprennent des recherches sur les propriétés hydrodynamiques des sols en relation avec le drainage souterrain. Il en résulte une formation accrue de spécialistes en drainage et une accélération du drainage des sols québécois selon des normes scientifiques. Ces dernières tiennent compte des paramètres physiques du sol (conductivité hydraulique saturée, porosité drainable, texture). Gilbert Sylvestre et Robert Broughton avaient bien compris l'importance de connaître les propriétés physiques et hydrodynamiques des sols avant de concevoir des systèmes de drainage souterrain.

L'ITAA de La Pocatière embauche Gaétan Laflamme comme premier professeur spécialiste en physique et conservation des sols. La Division des Sols du Ministère de l'Agriculture et de la Colonisation embauche son premier physicien du sol en la personne de Denis Côté. Agriculture Canada comptera durant cette période un physicien à Ste-Foy, Guy Mehuys; un à Lennoxville, Alain Pesant; et un à St-Jean à la station des sols organiques, Jacques Millette.

Les sujets de recherche en physique et conservation des sols sont variés et nombreux et ils visent tantôt à caractériser des séries de sol, à comprendre un phénomène de pédogénèse, à expérimenter des pratiques culturales nouvelles, à développer des appareils et méthodes d'analyse... etc.

En voici une brève liste

- traceurs radioactifs de l'eau du sol (Macdonald College et boursier CRESAQ à Guelph)
- propriétés physiques des sols gleysoliques du Québec (Agric. Canada, Ste-Foy)
- mesure de K sat. dans les tills pierreux (Agric. Canada, Ste-Foy)
- propriétés physiques des fragipans (Agric. Canada, Ste-Foy)
- validation des formules d'écartement des drains basés sur les paramètres physiques du sol (Laval, Macdonald College et MAPAQ)

- mesures de bilan hydrique
- propriétés physiques et chimiques des sols liées à la perte d'efficacité des drains et filtres (Macdonald, Laval, MAPAQ)
- dégradation des sols organiques cultivés (Agricultrue Canada, St-Jean, MAPAQ)
- étude sur compactage du sol (MAPAQ et Macdonald College)
- jours ouvrables sur le terrain versus capacité portante des sols (Macdonald College)
- expérimentation sur billon, non labour, façons culturales superficielles et effets sur propriétés physiques et thermiques des sols (MAPAQ)
- interactions entre le régime hydrique de différentes séries de sol et la fertilisation minérale sur le rendement et l'assimilabilité des éléments fertilisants sur plantes fourragères et céréales (Agric. Canada, Lennoxville)
- étude des propriétés physiques des sols et des facteurs climatiques qui interviennent dans la survie à l'hiver de la luzerne (Agric. Canada, Lennoxville)
- amélioration de la structure du sol de la couche arable par amendements organiques et pratiques culturales (Agric. Canada, Ste-Foy et MAPAQ)
- essais d'ameublissement du sous-sol et effets sur croissance du maïs, de la luzerne et des légumes de conserverie (Macdonald College, MAPAQ et Agric. Canada)
- tassement du sol causé par les épandeurs à lisier (MAPAQ)
- mesures d'érosion et de conservation des sols sur terrain en pente en Estrie et au Lac St-Jean (Agric. Canada, Lennoxville et MAPAQ)
- lisier de porcs, amendement des propriétés physiques des sols sur cultures de maïs et prairies de graminées (MAPAQ)
- dates, doses et modes d'épandage du lisier de porc en relation avec les propriétés physiques des sols (MAPAQ)

Vers 1977, est fondée la section physique au sein de la Commission des sols du Conseil des productions végétales du Québec. Il en résultera un rapprochement entre les spécialistes, la rédaction de guides vulgarisés, l'élaboration des priorités de recherches, l'organisation de colloque. La section organise un voyage au Nouveau-Brunswick dans le but d'étudier les ouvrages de conservation des sols mis en place dans la région de Grand Sault. Jean-Louis Daigle accueille le groupe québécois à cette occasion et devient,

suite à ce contact une personne ressource régulièrement consultée à titre de spécialiste des ouvrages et pratiques de conservation des sols par ses voisins québécois.

1980-85

Durant cette période, l'agriculture québécoise s'intensifie pour plusieurs raisons dont: les politiques gouvernementales favorables à l'auto-suffisance en céréales, la hausse très rapide du prix des terres jusqu'au début des années 80 et la nécessité pour les agriculteurs de rentabiliser des emprunts contractés à des taux d'intérêt atteignant 20%. La Commission sénatoriale canadienne sur la dégradation parcourt chacune des provinces. Au Québec, le rapport Sparrow signale la présence de dégradation des sols qui se manifeste surtout par l'érosion et le tassement des sols.

De nouveaux Services et Ministères s'intéressent à la recherche en physique et en conservation des sols. Au Service du génie du MAPAQ, Yvon Brochu initie des travaux reliés au machinisme agricole, au drainage, à l'irrigation, tenant compte de paramètres physiques et hydrodynamiques du sol. Au Ministère de l'Environnement du Québec, Claude Bernard s'intéresse aux mesures de conservation des sols et à leur impact sur la qualité des eaux.

De nouveaux projets de recherches démarrent dont voici une brève liste:

- essais d'ameublement du sous-sol par sous-solage (MAPAQ)
- propriétés physiques des sols reliées au colmatage et à l'étanchéité des fosses à fumier liquide (MAPAQ)
- impact de la construction d'un gazoduc (Montréal-Québec) sur les propriétés physiques du sol. (MAPAQ)
- fabrication de deux simulateurs de pluie au champ et mesure du facteur d'érodibilité de divers sols de l'Estrie et de la région de Montréal (Agric. Canada, Lennoxville et Macdonald College)
- validation d'un bilan hydrique orienté vers l'utilisation rationnelle de l'eau du sol (irrigation, drainage, consommation par les plantes (Université Laval, MAPAQ, IRPQ)
- évaluation des meilleurs lits de semence pour la betterave sucrière et le maïs (Macdonald College et MAPAQ)
- caractérisation de plusieurs séries de sol en regard de leur capacité de rétention en eau utile et corrélation avec texture et contenu en m.o.; application à l'irrigation (MAPAQ)

- réduction du colmatage ferrique des drains et filtres (MAPAQ)
- essais de compostage superficiel au champ de résidus forestiers arrosés de lisier, aspect amendement des propriétés physiques du sol (Université Laval et MAPAQ)
- étude des argiles plastiques du Lac St-Pierre en rapport avec leur drainage souterrain (MAPAQ, Nicolet)

Conclusion

Les résultats des travaux de recherches de ces spécialistes en physique et conservation des sols ont influencé de façon évidente l'agriculture québécoise au cours des vingt dernières années. Il suffit de regarder les travaux de mise en valeur des terres (drainage, irrigation, modelage) ou l'adoption de nouvelles pratiques culturales (meilleure gestion de la m.o., chaulage, préparation des lits de semence, modification des profils culturaux). Toutefois, les spécialistes reconnaissent que la première étape et la plus importante dans la voie de la conservation des sols demeure la connaissance des propriétés physiques et chimiques de ceux-ci. La caractérisation des propriétés physiques de nos séries de sol n'est qu'amorçée à l'heure actuelle. D'autre part, les études d'interactions entre les propriétés physiques des sols et leur fertilité conserveront elles aussi une grande importance dans les décennies à venir, la tendance actuelle favorisant l'adoption de nouvelles pratiques capables d'augmenter encore la productivité de nos sols. Ainsi se termine cette ébauche sur l'historique de la recherche en physique et conservation des sols en 1985, par ce regard optimiste que vous braquez tous sur les prochaines décennies.

Conférence présentée au 53^e Congrès de l'ACFAS à Chicoutimi
dans le cadre du colloque sur la rétrospective de la recherche
sur les sols au Québec.

Chimie et fertilité des sols

par

Armand Dubé, agronome

Service de recherche en sols

MAPAQ

L'histoire de la recherche en chimie et fertilité des sols au Québec est relativement récente. Si on veut rendre justice aux pionniers, il faut cependant remonter à près de cent ans pour assister aux origines de notre organisme provincial des sols et des autres institutions. Comme il n'est pas possible, dans le cadre de cette communication, de relater tous les faits et tous les noms pertinents à cette histoire, nous aborderons ce sujet en essayant de suivre l'évolution de la recherche à travers les faits les plus marquants ainsi que la contribution des personnages principaux qui ont oeuvré au sein des différents organismes.

Notre démarche se déroulera à l'intérieur de quatre périodes: les origines se situent entre 1888 et 1920; les premières réalisations apparaissent entre 1920 et 1947, année qui marque la création du conseil des recherches agricoles du Québec; la phase de développement s'étend de 1947 à 1970, début de la période actuelle.

Les origines (1888-1920)

Les origines des études relatives à la chimie et à la fertilité des sols remontent à l'institution de la première station expérimentale dont l'établissement en 1888 fut confié au Séminaire de St-Hyacinthe dirigé par Monseigneur Choquette. Le laboratoire de chimie agricole de cette station commença ses opérations l'année suivante. Les débuts furent des plus modestes, surtout en ce qui a trait à l'analyse de rares échantillons de sols et d'engrais (Choinière, 1948). Cet auteur mentionne une étude sur l'utilisation agricole et économique de la terre noire de St-Dominique entre 1903 et 1915. C'est à partir de cette date que le laboratoire dirigé par le docteur A. T. Charron produit les premiers avis de fumure et d'amendement des sols, basés sur des analyses complètes.

La fondation des Ecoles d'Agriculture de La Pocatière en 1859, de Ste-Anne-de-Bellevue (Collège Macdonald) en 1905 et d'Oka en 1910, marque aussi d'une certaine façon, les premiers jalons qui ont conduit au développement que l'on connaît aujourd'hui.

On ne peut parler des origines des recherches en fertilité des sols sans mentionner que les premières expériences scientifiques effectuées sur le territoire du Québec l'ont été en grande partie par la Station Expérimentale du Ministère de l'Agriculture du Canada à Ottawa. Il faut même avouer que pendant longtemps, on était d'avis que le champ de la recherche devait relever du pouvoir central et que la vulgarisation revenait aux provinces. Les Stations Expérimentales de La Pocatière, fondée en 1910 et de Lennoxville en 1914, ont aussi participé à ces travaux dans leur région respective

Les premières réalisations (1920-1947)

En 1920, il est question des éléments assimilables pour la première fois. Vers la même époque on établit que 50% des sols bénéficieraient d'un apport de chaux. On effectue aussi une étude sur l'état de fertilité de la ferme de l'Ecole de laiterie. Le dernier nom associé à cette période est celui de J. E. Thériault. Les premières études pédologiques par des équipes provinciales sont entreprises sous sa direction.

En 1927, le professeur Scott mentionnait que le problème du maintien de la fertilité du sol ne s'était pas encore posé d'une façon très ardue, pour nous de la province de Québec. Il soulignait le besoin d'une classification des sols, comme un pré-requis essentiel à une divulgation bien adaptée aux conditions du milieu des conseils agronomiques.

En 1932, survient le déménagement du laboratoire de chimie agricole de Saint-Hyacinthe à Québec. On commence à l'appeler Laboratoire des sols. Cinq ans plus tard, on le redéménage à Sainte-Anne-de-la-Pocatière.

Les premières études des sols réalisées au Québec étaient davantage axées sur la détermination de leur fertilité, de leur productivité et de leur aptitude à une production donnée, que sur leur classification pédogénétique. Il en est ainsi du premier rapport du comité d'enquête sur les sols du Québec qui porte sur "les sols organiques du sud-ouest du Québec" (M. Kibbin et Stobbe, 1936). On peut en dire autant de l'étude des sols à vergers (Stobbe et McKibbin, 1938).

De 1925 à 1934, les expériences sur la fertilisation des vergers dans la province de Québec relèvent de la Ferme expérimentale centrale

d'Ottawa comme le mentionne Hill (1953). Ce dernier effectue des travaux sur les vergers à Oka, Frelishburg et Hemmingford. A ce dernier endroit, on a décelé une carence potassique, à Frelishburg une insuffisance de magnésium. Au cours de cette période, P. O. Repley oeuvre à la Station de Lennoxville (1926-1931). Ce dernier poursuit des expériences avec la chaux, les fumiers et les engrais minéraux.

Browne (1953) relate les travaux effectués de 1936 à 1939 à la station de Sainte-Clothilde, comté de Châteauguay. Cette expérience avait pour but de déterminer les exigences des terres noires en éléments nutritifs (N, P, K, S, Mn, Cu, B) pour les pommes de terre, les oignons, le céleri, les épinards et les choux. En 1937, démarrait un essai en factorielle $3N \times 3P \times 3K$ avec la pomme de terre, le haricot, la tomate, les asperges et la menthe. Phase de développement (1947-1971)

Cette période est marquée par la création du Conseil des recherches agricoles du Québec et un effort de recherche marqué dans les stations fédérales.

Le Conseil des Recherches agricoles

Un bilan des activités de recherches subventionnées par le Conseil des Recherches agricoles du Québec entre la date de sa fondation, en 1947 et 1957 montre que seulement neuf (9) travaux relatifs à la fertilité des sols avaient été complétés ou étaient en cours sur un total de 84 (Anonyme, 1957).

Parmi les chercheurs des institutions universitaires qui ont marqué cette période figurent les professeurs Scott, Choinière, Alarie, Mailloux, Stepler et O'Grady.

Certains sujets de recherche de l'époque sont encore inscrits parmi les priorités de recherche. Qu'il suffise de mentionner les études sur l'activité microbienne, sur la matière organique, sur les oligo-éléments et sur les barèmes de fertilisation en phosphore, en potassium et en magnésium.

Un autre relevé effectué en 1964 montre une progression rapide du nombre des travaux (Conseil des Recherches agricoles, 1964). On en compte 45 au total, dont sept (7) à l'Université Laval, dix (10) au Collège MacDonald, 20 au Gouvernement fédéral et huit (8) au Gouvernement provincial.

Cette augmentation considérable du nombre de travaux s'accompagne d'un intérêt accru pour améliorer la qualité des produits en même temps que l'on cherche à accroître la productivité. De nouvelles techniques permettant d'accélérer le dosage des éléments dans le sol et dans les tissus végétaux sont introduites dans les laboratoires. On commence aussi à utiliser les

techniques isotopiques pour les études en alimentation minérale des plantes.
Le comité de fertilité des sols

L'année 1957 marque la création du comité de fertilité des sols de la province de Québec. Parmi les objectifs de cet organisme figurent "l'étude des types de sols du point de vue de leur productivité et la cueillette de données expérimentales en fertilité des sols" (Ouellet et Dionne, 1965).

Lors de la quatrième réunion du Comité en 1962, le Dr G. Ouellet souligne le fait que sur quelque trois cent séries de sols identifiées, seulement une quinzaine ont fait l'objet d'études en fertilité. Le comité déplore le manque de fonds et de personnel dans ce secteur d'activité. Les effectifs n'ont guère augmenté avant les années 70.

En 1965, le comité remet un rapport des travaux effectués l'année précédente. On y trouve les résultats de 39 essais de fumure, dont plus de la moitié par le Collège MacDonald et les autres par le ministère fédéral de l'Agriculture, principalement aux céréales, aux plantes fourragères et au maïs. Le rapport paru en 1968 montre une augmentation du nombre des essais dont le total atteint 55 pour le territoire du Québec.

Cette compilation ne donne cependant pas une image complète des travaux effectués en chimie et fertilité des sols, puisqu'on n'y trouve pratiquement que les essais relatifs à la "calibration" des méthodes d'analyse. Ne figurent pas dans ces relevés les recherches d'aspect fondamental, et les expériences relatives au chaulage, à la fumure organique, aux oligo-éléments et à l'activité biologique. Les résultats de ces travaux ont fait l'objet de publications dans les revues scientifiques canadiennes ou américaines.

Parmi les chercheurs impliqués dans les travaux relatés dans les rapports du comité de fertilité des sols, figurent A. F. MacKenzie, J. Ls. Dionne, G. Ouellet, A. Scott et L. Choinière.

Le comité de fertilité a cessé ses activités en 1970. La Commission des sols du Conseil des Productions végétales du Québec a pris la relève avec la formation de la Section de chimie et fertilité des sols.
Les Stations Expérimentales fédérales

Les recherches en fertilité ont connu un essor marqué dans les stations expérimentales de Lennoxville, de Saint-Jean et de La Pocatière. Dans l'Estrie, on signale les travaux de B. Finn (1945-55) sur la fertilisation des prairies et des pâturages. Il fut suivi de J. L. Dionne dont les recherches approfondies sur la verse des céréales en relation avec la fumure azotée sur les interactions entre le pH du sol, les éléments majeurs, le magnésium et les

oligo-éléments Al, Mn et Mo ont marqué cette époque.

A La Pocatière, G. Ouellet a surtout oeuvré dans le secteur des oligo-éléments, particulièrement le manganèse, le bore et le molybdène, en relation avec les méthodes d'analyse et les seuils de carence et de toxicité.

La Station de Saint-Jean a continué les recherches sur la fertilisation des légumes.

La Division des sols

En 1967, la Division des sols, (Québec), qui a commencé depuis près de huit ans à diversifier ses activités jusque là entièrement tournée vers la classification des sols, procède à la répartition de ses effectifs en trois sections dont celle de la chimie et de la fertilité des sols. Cette section devient alors une entité distincte du laboratoire provincial des sols dont le rôle consiste principalement à effectuer des analyses de sols pour les agriculteurs. Ses activités se concentrent alors dans les Postes d'Expérimentation de Cap-aux-Corbeaux (Charlevoix) et de Saint-Coeur-de-Marie (Lac Saint-Jean). L. J. Archambault est en charge du premier et A. Dubé du second. Ces postes d'expérimentation effectuent des recherches sur l'érosion et la conservation des sols de 1959 à 1972. On y poursuit aussi des travaux en fertilité sur l'orge et les plantes fourragères, particulièrement le lotier et la luzerne.

Période actuelle (1970-1985)

Le Service de recherche en sols (MAPAQ)

Le déménagement de la section de chimie et de fertilité des sols à Québec, en 1970, coïncide avec le début de la période actuelle. Le groupe de chercheurs fut hébergé dans les locaux du laboratoire des sols du ministère de la Colonisation, en attendant d'entrer au Complexe Scientifique en 1971. En 1976, la Division des sols fut promue au rang de Service sous la direction de Marton Tabi. La section de chimie et de fertilité devient une Division en 1977; elle comptait alors sept chercheurs; E. Chamberland, B. T. Cheng, M. Giroux, R. Ouellet, C. Plenchette, T. S. Tran et W. van Lierop, sous la responsabilité de A. Dubé.

L'acquisition d'une ferme à Saint-Lambert de Lévis en 1976 par le Service de recherche en sols du ministère de l'Agriculture du Québec, constitue une étape importante dans l'histoire de la recherche en fertilité des sols. En effet, cette ferme est devenue la première station de recherche exclusivement destinée aux études relatives à la chimie, à la fertilité et à l'aménagement des sols. Les chercheurs de la Division de chimie et de fertilité des

sols en ont fait leur centre principal de recherche et d'expérimentation et leur base d'opération pour rayonner dans les différentes régions du Québec. Le fait le plus marquant, dont on ne commence qu'à entrevoir la portée éventuelle sera la mise en place d'essais de longue durée à la station de recherche de Saint-Lambert pour la première fois au Québec.

Les trois premiers essais de longue durée relatifs à la fertilisation et à l'amendement organique des sols dans les systèmes d'assolement en monoculture, ont été mis en place dès l'ouverture de la station. Depuis lors, on y a ajouté des essais de fertilisation au lisier de porc seul ou avec des résidus de biomasse forestière, dans les parcelles de longue durée et en case lysimétrique.

Le plan quinquennal du Service de recherche en sols (Tabi et Dubé, 1981) relate les principales réalisations en chimie et en fertilité des sols de cet organisme. On y relève en particulier une étude sur les formes de phosphates du sol avec le ^{32}P , les essais de fertilité sur une douzaine de séries de sols avec huit espèces cultivées, des études sur le besoin en chaux, sur l'utilisation du lisier de porc comme engrais et sur les mycorhizes. Au chapitre des travaux en cours ou à entreprendre figurent des essais avec ^{15}N , la mise en valeur pour l'horticulture d'un sol tourbeux acide, la détermination des besoins en oligo-éléments des plantes horticoles et l'application du procédé d'électro-ultrafiltration à l'étude de la solution du sol.

La Section de chimie et de fertilité des sols

Le mandat de cette section consistait d'une part, à établir et réviser la liste des besoins de recherche dans le domaine de la chimie et de la fertilité des sols et d'autre part, de favoriser la concentration entre les chercheurs oeuvrant dans des institutions diverses en vue d'assurer la réalisation d'objectifs communs, compte tenu des priorités établies. Or, parmi ces priorités, les membres ont opté pour accélérer le programme de calibration des méthodes d'analyse des sols, en vue de vérifier et de refaire au besoin les grilles d'interprétation des résultats d'analyse et d'établir les doses d'engrais requises par les différentes espèces cultivées.

La réalisation de cet objectif a mobilisé les efforts des chercheurs universitaires et gouvernementaux. Le Dr MacKenzie du Collège MacDonald, qui oeuvrait en ce domaine depuis quelques années a pris charge des essais de fertilisation sur les plantes horticoles en sol organique, avec la collaboration du Dr Hamilton, tout en poursuivant les travaux sur le maïs et sur les céréales en sol minéral dans le sud-ouest du territoire. Le Dr Jean-Louis

Dionne a participé à ces essais sur le maïs et les céréales en Estrie, à partir de la station expérimentale de Lennoxville. Gordon Barnett a surtout oeuvré dans la région desservie par la station expérimentale de La Pocatière. L'équipe de recherche en fertilité de la Division des sols au ministère de l'Agriculture du Québec, composée de Marcel Giroux, Emile Chamberland, B. T. Cheng et Armand Dubé ont aussi pris part activement à ces travaux principalement dans les régions de Québec et du Saguenay-lac-Saint-Jean. Leurs travaux touchaient plusieurs cultures dont la pomme de terre, le blé de printemps, le haricot, le chou, les pois verts, le soja, le maïs sucré, la carotte, la tomate, les fraises, les framboises et l'asperge.

Les stations de recherche d'Agriculture Canada

L'équipe de recherche en fertilité des sols de la Station de Sainte-Foy, installée depuis les années 60 près du campus de l'Université Laval, s'est surtout versée dans des programmes relatifs à la matière organique des sols, à l'alimentation minérale des herbages et des céréales ainsi qu'à la fertilisation des sols organiques.

Y. Martel, J. Ziska, C. De Kimpe, D. Isfan et M. Laverdière ont participé à la réalisation de ces travaux.

Après avoir d'abord oeuvré à La Pocatière, dans le domaine de la calibration des méthodes d'analyse, G. Barnett se retrouve à Lennoxville pour accentuer ses travaux sur la minéralisation de la matière organique des fumiers. A cette Station, J. Ls. Dionne poursuit son programme en calibration des sols et participe aux études sur la nutrition minérale en fonction du régime hydrique des sols avec A. Pesant.

La station de Saint-Jean, spécialisée dans le secteur des sols organiques, s'intéresse aux besoins des cultures maraîchères en éléments majeurs et mineurs, au devenir des engrais en relation avec le pH, à l'oxydation biologique et au rôle du cuivre.

La recherche universitaire

Au cours de cette période, le Département des sols de l'Université Laval et celui des Ressources renouvelables du Collège MacDonald ont produit plusieurs thèses de maîtrises et quelques thèses de doctorat portant sur la chimie et la fertilité des sols. On y relève des études relatives à l'établissement de modèles mathématiques pour la fertilisation du maïs-grain, les méthodes de détermination du besoin en chaux sur l'adsorption et la désorption du bore ainsi que sur l'influence de P, K et Ca sur la croissance et la teneur minérale des racines et des parties aériennes.

Conclusion

Cet aperçu historique de la recherche en chimie et fertilité des sols au Québec devrait conduire à une rédaction plus complète, car, dans le cadre de cet exposé, il n'a été possible de consulter qu'une partie de l'abondante et riche documentation sur le sujet.

Qu'il me soit permis d'ajouter quelques mots relatifs aux orientations futures dans ce champ d'activités où les besoins sont nombreux et diversifiés.

Il faudra continuer les essais de longue durée avec les engrais minéraux et organiques, poursuivre les travaux relatifs à la fumure azotée avec ^{15}N et les études sur la disponibilité du phosphore.

On devra intensifier les études sur l'évolution de la matière organique, sur les besoins en oligo-éléments, sur le lisier de porc et sur la relation humidité du sol - alimentation minérale.

Il y aura lieu d'entreprendre des recherches sur l'utilisation des boues résiduaires (longue durée), sur les exigences nutritives de cultivars sélectionnés, sur l'influence des engrais minéraux et sur la vie microbienne des sols. Enfin, il est essentiel de s'engager résolument à déterminer l'état de fertilité et le potentiel productif des types ou séries de sols les plus représentatifs du Québec, et à développer des modèles mathématiques adaptés aux relations sols-plantes permettant l'utilisation optimale des engrais et des réserves du sol.

Ouvrages consultés

- Anonyme, 1957. Le Conseil des Recherches agricoles. Fondation - historique - réalisations. Juin 1947 - avril 1957. Recherches agro-nomiques. Min. Agric. Québec.
- Anonyme, 1958. Le Conseil des Recherches agricoles. Sommaire des résultats 1948-1957. Min. Agric. Québec.
- Anonyme, 1964. Etat actuel et conditions de l'expansion progressive de la recherche agricole au Québec. Conseil des Recherches agricoles.
- Anonyme, 1985. Liste des références bibliographiques traitant des aspects de la recherche en fertilisation des forêts et des plantations. Serv. de la Recherche. Min. Energie et Ressources, Québec.
- Choinière, L. 1948. L'organisation provinciale de l'étude des sols du Québec. Agriculture. Vol. 5. no 2, p. 162.
- Comité de Fertilité des sols de la Province de Québec. Comptes rendus de 1960 à 1969.
- Davis, M. B. 1953. Rapport d'activité 1934-1948. Division de l'Horticulture. Ferme expérimentale centrale, Ottawa.
- Dubé, A., B. Rochefort, M. Tabi et L. Tardif, 1976. Le Service des Sols, hier et aujourd'hui. Programmes et activités 1975-1976.
- Hill, H. 1953. Etudes sur la nutrition et l'exploitation des sols. Rapport d'activité 1934-1948. Division de l'Horticulture, Ferme exp. Centrale, Ottawa. pp. 109-140.
- MacKenzie, A. F. 1979. Soil fertility research at MacDonald College, 1968-1979. Dept. of Renewable Resources.
- Mailloux, A. 1969. Rapport des missions et travaux accomplis en 1968-69. Division des Sols.
- Mailloux, A. 1970. Abrégé des activités 1969-70. Division des Sols. Min. Agric. Col., Québec
- McKibbin, R. R., et P. C. Stobbe, 1936. Les sols organiques du sud-ouest du Québec. Min. Agric., Canada. Publ. 499.
- Service de recherche en sols. Rapports d'activités pour les années 1974-75 à 1983-84. Service des Impressions. Min. Communications, Québec.
- Stobbe, P. C. et R. R. McKibbin, 1938. Les sols à vergers, de la Province de Québec. Min. Agric., Canada, Publ. 590.

- Tabi, M. 1978. La recherche en chimie et fertilité des sols au Québec. Service de recherche en sols. Min. Agric., Québec (inédit).
- Tabi, M. et A. Dubé. 1981. Plan quinquennal. Service de recherche en sols. 1980-1985. Direction de la recherche agricole. Min. Agric. Québec (inédit).

Microbiologie des sols: étude sur le Rhizobium

Hani Antoun et Lucien M. Bordeleau

Département des sols, faculté des sciences de l'Agriculture et
de l'Alimentation, Université Laval, Québec G1K 7P4 et
Station de recherches,* Agriculture Canada, 2560, boulevard Hochelaga,
Sainte-Foy, Québec G1V 2J3

Table des matières

Introduction	
Isolement des souches efficaces de <u>Rhizobium</u>	
Développement de méthodes rapides pour la sélection de souches efficaces de <u>Rhizobium</u>	
Détermination de la nature exacte de la source d'énergie fournie par la plante aux bactéroïdes dans les nodosités	
Etudes sur l'écologie du <u>Rhizobium</u>	
Conclusion et perspective d'avenir	
Remerciements	
Références	

INTRODUCTION

L'azote est un des éléments majeurs essentiels à la croissance des plantes. La réserve planétaire pour cet élément est constituée par l'azote atmosphérique, qui occupe environ 78% en volume, de l'air atmosphérique. Pour pouvoir être utilisé par les végétaux, l'azote atmosphérique doit être fixé, c'est-à-dire réduit de N_2 en NH_3 . Cette réaction nécessite beaucoup d'énergie, qui est généralement d'origine fossile non renouvelable, pour le procédé industriel de Harber-Bosch. Plusieurs organismes procaryotes (bactéries, actinomycètes, cyanobactéries), grâce à une enzyme, la nitrogénase, réduisent l'azote atmosphérique en utilisant des hydrates de carbone comme source d'énergie. La majeure partie de ces hydrates de carbone sont produits par les végétaux impliqués, lors de la photosynthèse qui utilise une source d'énergie renouvelable: la lumière. Ces organismes fixateurs d'azote vivent à l'état libre dans le sol, dans la rhizosphère des végétaux ou en symbiose avec certaines plantes. On estime qu'environ 40 millions de tonnes métriques d'azote sont fixés industriellement à chaque année, alors que 175 millions de tonnes par an sont fixés par voie biologique (Drevon 1983).

La symbiose Rhizobium-légumineuses est une association bénéfique ayant un intérêt agronomique et économique considérable, car elle fixe une quantité importante d'azote atmosphérique (200 à 300 kg/ha ou plus). Au Québec, la luzerne est une plante fourragère qui s'adapte bien aux conditions climatiques et qui donne des rendements élevés. Depuis son inauguration en 1970, un des objectifs de la station de recherches d'Agriculture Canada à Sainte-Foy a été l'augmentation du rendement de la luzerne (Medicago sativa L.). Cet objectif peut être atteint en partie, par l'amélioration du Rhizobium meliloti, le partenaire symbiotique de la luzerne. Au début, nos travaux portaient donc principalement sur la symbiose luzerne-R. meliloti, mais comme plusieurs nouveaux membres ont joint l'équipe, nous étudions présentement aussi la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique chez la féverole, la gourgane, le haricot, le pois, le sainfoin, certaines légumineuses de l'Arctique.

ISOLEMENT DES SOUCHES EFFICACES DE RHIZOBIUM

La présence dans le sol de souches efficaces de Rhizobium ayant une capacité élevée à fixer l'azote atmosphérique en association avec les légumineuses, est un des facteurs les plus importants qui influencent directement l'établissement de ces cultures. Dans les sols dépourvus de Rhizobium efficaces, ces bactéries doivent être introduites par l'inoculation des graines. Parmi les caractéristiques souhaitables chez une souche efficace de Rhizobium, pouvant être utilisée dans les inoculants commerciaux, on peut citer:

- a) la compatibilité avec la plante-hôte, surtout avec les différents cultivars utilisés
- b) un pouvoir de compétition élevé qui permettra à la souche de persister dans le sol, en présence des autres constituants de la microflore tellurique, et de concurrencer pour la formation des nodosités, avec les autres Rhizobium autochtones moins efficaces
- c) la résistance à certaines conditions édaphiques extrêmes: acidité, sécheresse, gel et dégel
- d) la résistance à la plupart des pesticides couramment en usage, surtout ceux utilisés pour le traitement des semences
- e) l'habileté à former rapidement des nodosités fixatrices d'azote.

Suite à un tamisage de 49 souches de R. meliloti dont plusieurs étaient isolées dans différentes régions du Québec, 6 souches très efficaces ont été isolées (Bordeleau et al. 1977). La meilleure parmi ces souches a été homologuée sous le nom de BALSAC. Cette souche est présente-ment utilisée dans plusieurs pays et au Québec, il est estimé que l'utilisation de la BALSAC est responsable de 20 millions de dollars d'économie en achat d'azote annuellement (Bourget 1982). Actuellement notre équipe possède plusieurs souches de Rhizobium efficaces avec le pois, le haricot

et la féverole.

L'isolement de ces souches efficaces est un processus très lent qui nécessite beaucoup d'espace et de main-d'oeuvre et qui ne permet de tester qu'un nombre restreint de souches. Nous avons donc orienté nos recherches vers le développement de méthodes rapides pour la sélection de souches efficaces de Rhizobium.

DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES RAPIDES POUR LA SÉLECTION DE SOUCHES EFFICACES DE RHIZOBIUM

Idéalement, une méthode rapide de sélection de souches efficaces de Rhizobium devrait pouvoir être faite au laboratoire et devrait mesurer certaines propriétés physiologiques de la bactérie in vitro, qui sont directement reliées à l'activité des bactéroïdes* dans les nodosités. C'est ainsi que nous avons décrit une méthode rapide de présélection des souches R. meliloti en mesurant le pH final du milieu de culture de la bactérie (Bordeleau et Antoun 1978). En effet, après 28 jours de culture, sur un milieu gélosé à base de mannitol et d'extrait de levure, les souches inefficaces (NE) produisent plus d'acides organiques que les souches très efficaces (TE) et peuvent ainsi significativement baisser le pH du milieu de culture (de 7,15 à 5,87 par exemple). D'autre part, nous avons aussi observé que les souches NE, consomment plus de mannitol et d'oxygène durant leur croissance que les souches TE (Bordeleau et al. 1980). Le dosage de la consommation d'oxygène s'est avéré être un outil simple, rapide et très utile pour faire une présélection d'un grand nombre de souches. Il a été proposé qu'il existe une corrélation significative entre l'activité de la nitratre réductase et celle de la nitrogénase chez le R. meliloti (Kondorosi et al. 1973). Dans une étude faite avec 41 souches de R. meliloti, aucune

* Le bactéroïde est la forme de Rhizobium responsable de la fixation de l'azote atmosphérique dans les nodosités des légumineuses.

corrélation significative n'a été trouvée entre l'activité de la nitratre réductase chez les bactéries végétatives et l'efficacité symbiotique des souches (Antoun et al. 1980). Le dosage de l'activité spécifique de la nitrage réductase chez R. meliloti ne peut donc pas être utilisé comme moyen de sélection de souche TE.

Jusqu'à date, aucune méthode rapide de sélection des souches de Rhizobium ne peut être considérée infaillible ou très précise. Ce problème est issu probablement du fait que, jusqu'à présent, on ne connaît pas exactement la source d'énergie (provenant de la photosynthèse) fournie par la plante aux bactéroïdes à l'intérieur des nodosités.

DÉTERMINATION DE LA NATURE EXACTE DE LA SOURCE D'ÉNERGIE FOURNIE PAR LA PLANTE AUX BACTÉROÏDES DANS LES NODOSITÉS

Il est très important de savoir quelle est la source de carbone fournie par la plante à la bactérie car cette information est indispensable si l'on veut améliorer l'activité de la nitrogénase par manipulation génétique de la bactérie, et elle sera aussi la clef vers le développement d'une méthode rapide de sélection. Plusieurs travaux, basés sur l'utilisation de mutants altérés pour l'utilisation de plusieurs hydrates de carbone, indiquent que la source d'énergie fournie aux bactéroïdes est probablement un acide organique (ex. Dénarie et Truchet 1979). En effet, nous avons observé qu'en général les souches TE de R. meliloti utilisent mieux que les souches NE les intermédiaires du cycle de Krebs (Antoun et al. 1984). En utilisant la technique de mutation au NTG, nous avons isolés quelques mutants de R. meliloti incapables d'utiliser plusieurs intermédiaires du cycle de Krebs comme seule source de carbone. Ces mutants forment des nodosités mais leur activité nitrogénasique est presque nulle. Le métabolisme du carbone chez ces mutants est présentement à l'étude.

ÉTUDES DE L'ÉCOLOGIE DU RHIZOBIUM

Dans nos travaux sur l'écologie du Rhizobium, on étudie:

- a) l'identification des souches de Rhizobium
- b) la caractérisation des Rhizobium impliqués dans des associations symbiotiques peu (ou pas) étudiées
- c) la lutte biologique
- d) la compétition entre les souches de Rhizobium
- e) le comportement des souches de Rhizobium en présence des fertilisants azotés.

Lorsqu'on sélectionne une souche TE de Rhizobium, il est essentiel d'avoir un outil qui permet de retracer la souche au champ, après son introduction par la bactérisation des semences. Le marquage génétique des bactéries (par exemple, résistance aux doses élevées d'antibiotiques) peut être utilisé en laboratoire, mais au champ il représente un risque biologique important. Malgré que des méthodes sérologiques laborieuses donnent des résultats satisfaisants (ex. Olsen et Rice 1984), il est préférable d'identifier les souches en utilisant leurs propriétés intrinsèques (Josey et al. 1979). Lors de nos travaux sur la détermination de la nature exacte de la source de carbone fournie par la plante aux bactéroïdes, nous avons trouvé que plusieurs souches de R. meliloti utilisent les intermédiaires du cycle de Krebs d'une manière unique, et pouvaient ainsi être identifiées (Antoun et al. 1984). D'autre part, plusieurs souches de R. meliloti ont un profil unique de résistance aux antibiotiques, ce qui permet leur identification en utilisant les méthodes rapides décrites pour la microbiologie médicale (Antoun et al. 1982).

Des souches de Rhizobium arctique isolées à partir des nodules de Oxytropis maydelliana, Oxytropis arctobia et Astragalus alpinus sont

présentement à l'étude. Ces souches montrent une adaptation au froid et elles sont pourvues d'un très riche bagage génétique qui pourra être utilisé pour l'amélioration de la fixation symbiotique de l'azote chez les légumineuses cultivées.

La présence dans le sol d'une microflore antagoniste envers le Rhizobium ou pathogène à la plante peut être un des facteurs importants qui empêchent le bon établissement des légumineuses. Dans le but d'établir un système de lutte biologique contre certains champignons phytopathogènes on a étudié d'abord l'effet des actinomycètes, isolés de différents sols au Québec, sur la croissance des souches T_E de R. meliloti A₂ et S₁₄. Des 481 actinomycètes étudiées, 28% ont inhibé la souche A₂ et 31% la souche S₁₄. Les effets de 288 isolats n'affectant pas le R. meliloti ont été étudiés sur 6 champignons. Le champignon le plus sensible a été le Stemphylium sarcinaeforme inhibé par 20% des isolats d'actinomycètes (neutre vis-à-vis du R. meliloti) et le champignon le plus résistant a été le Fusarium culmorum inhibé par 6% des isolats (Antoun et al. 1978a). Treize isolats ayant une grande activité antifongique et n'affectant pas les 2 souches T_E de R. meliloti ont été identifiés (Antoun et al. 1978b) et ces isolats offrent un potentiel important en lutte biologique. Les bactéries dans le sol sont cependant beaucoup plus compétitives que les actinomycètes, nous avons donc étudié l'activité antifongique de 644 bactéries isolées du sol et de la rhizosphère de certaines légumineuses. Parmi les bactéries isolées neutres envers les souches A₂ et S₁₄, des Pseudomonas spp. et Bacillus spp. incorporés dans la gélose ont provoqué des réductions de la surface de croissance des champignons de plus de 90%. La plupart des bactéries sélectionnées n'ont pas eu d'effet néfaste sur la croissance de la luzerne dans un sol stérilisé. D'autres essais devront toutefois être effectués afin de mesurer le potentiel au champ des bactéries et des actinomycètes antifongiques. La question que l'on se pose souvent et qui touche directement l'aspect de l'écologie du Rhizobium est la suivante: Dans un inoculant commercial doit-on avoir une souche où plusieurs souches de Rhizobium et plus d'une espèce? En effet, plusieurs manufacturiers préparent des inoculants contenant plusieurs souches de la même espèce et offrent même des inoculants mixtes de deux espèces et plus. L'idée est de prévoir des formulations qui assureront une bonne nodulation dans toutes

les conditions de champ et où plus d'une espèce de légumineuses sont implantées, comme le trèfle et la luzerne ensemble. Mais de telles formulations sont-elles vraiment efficaces? Pour répondre à cette question, nous avons fait une étude avec 6 souches TE de R. meliloti, utilisées en combinaisons de 1 à 6 souches. Les rendements les plus élevés de la luzerne ont été obtenus lorsque les souches étaient utilisées en paires dans l'inoculant, indiquant un effet de synergisme (Bordeleau et Antoun 1977). Les plus faibles rendements ont été obtenus avec des combinaisons de 3 souches ou plus. La présence d'autres espèces de Rhizobium avec la souche Balsac de R. meliloti n'a pas eu d'effet néfaste sur le rendement de la luzerne à cause de la très grande compétitivité de la Balsac. La présence de 2 espèces ou plus peut avoir un effet néfaste très important dans certains cas (Antoun et al. 1979).

L'interaction entre les souches de Rhizobium introduite dans la rhizosphère ou entre le Rhizobium et les autres bactéries telluriques a souvent lieu rapidement et elle influence la première étape de la formation de nodosités, qui est l'adsorption des bactéries sur les racines. Il est donc essentiel d'avoir un outil précis pour l'étude de ces interactions bactériennes dans la rhizosphère, c'est ainsi que nous avons décrit récemment une technique assez précise pour l'étude de l'adsorption du R. meliloti sur les racines des plantules de luzerne, par l'utilisation de bactéries marquées au ^{14}C ou au ^3H (Lafrenière et al. 1984). L'application de cette méthode isotopique nous a aussi permis d'évaluer l'effet des ions NO_3 et NH_4 sur l'attachement des Rhizobium aux racines de luzerne, dans le processus de la formation des nodosités au champ. Nous avons aussi trouvé que l'action négative du nitrate s'exerce au niveau du métabolisme de la plante-hôte plutôt que sur la réaction physico-chimique de l'adsorption des Rhizobium aux racines. En effet, le nitrate agit dès la première étape du processus symbiotique et il pourrait régulariser la nodulation chez la luzerne par le biais de l'adsorption du R. meliloti aux sites infectieux.

Une autre technique isotopique faisant appel à l'azote ^{13}N à courte vie a été mise au point (Caldwell et al. 1984). Nous avons évalué les effets du NO_3 et du NH_4 sur l'expression de l'activité de fixation d'azote (nitrogénase) chez des plantules de luzernes nodulées. À des

concentrations de 30 ppm, après 5 min d'exposition, le NH_4 et le NO_3 provoquent la même inhibition de l'enzyme (46%), tandis qu'après 24 h, l'ammonium inhibe beaucoup plus (48%) l'activité que le nitrate (13%). À des concentrations élevées de 70 ppm, les inhibitions sont sensiblement les mêmes pour les deux ions pour les mêmes périodes de temps d'exposition, soit de 32 à 43% pour le NH_4 , et de 48 à 36% pour le nitrate, pour 5 min et 24 h d'exposition respectivement. Ces résultats sont précieux dans l'élaboration des protocoles d'établissement d'une légumineuse au champ, où nous sommes souvent en présence de fertilisants azotés, et dans la régie de la culture pour tirer profit au maximum de l'association symbiotique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVE D'AVENIR

Dans ce travail, on a fait une description succincte de certains de nos travaux sur la symbiose Rhizobium-légumineuses. Nous vivons présentement un virage technologique très important où l'on passera de l'ordinateur à la révolution de la biotechnologie. Malgré les innombrables techniques de manipulation génétique disponibles, aucune communication n'indique qu'une souche TE de Rhizobium a été fabriquée en laboratoire. Ceci peut être attribué entre autres:

- 1) à certaines lacunes qui rendent difficile la compréhension exacte du métabolisme du carbone dans les nodosités
- 2) à l'instabilité du gène nif responsable de la fixation de l'azote atmosphérique catalysé par la nitrogénase et qui est présent sur des plasmides
- 3) au peu de techniques disponibles pour l'obtention de mutants de légumineuses et pour la propagation de ces plantes par la culture de tissus.

Malgré que l'on connaît l'effet bénéfique de la symbiose Rhizobium-légumineuses depuis environ un siècle, les différents mécanismes

impliqués ne sont pas encore élucidés.

La symbiose Rhizobium-légumineuses implique deux organismes différents et, afin de bien exploiter et de profiter au maximum de ce phénomène biologique bénéfique, les chercheurs ne peuvent que travailler en groupe. Notre équipe comprend des microbiologistes qui s'occupent de la physiologie, de la génétique et de l'écologie du Rhizobium et notre plus grande lacune c'est l'absence de chercheurs qui manipulent génétiquement la plante par les méthodes récentes de biologie moléculaire et des spécialistes des cultures de tissus végétaux. Une équipe au complet aurait pour objectif le développement d'une symbiose qui:

- a) fixe rapidement des quantités importantes d'azote atmosphérique. Cet effet qui implique le développement de plantes à système de photosynthèse plus efficace devrait se refléter sur un rendement (en grain ou en fourrage) plus élevé et de meilleure qualité (plus riche en protéines)
- b) résiste aux microorganismes phytopathogènes et aux autres parasites
- c) favorise l'établissement dans la rhizosphère d'une microflore qui lui est utile et qui soit compatible avec les autres microorganismes bénéfiques (mycorhizes, rhizobactéries utiles)
- d) chez les légumineuses pérennes, résiste aux conditions néfastes de l'hiver (ex. gel et dégel) et qui soit encore active pendant les périodes froides du printemps et de l'automne.

Comme nous avons des activités importantes au niveau du développement international, une telle équipe pourra aussi développer des symbioses bien adaptées aux conditions arides ou tropicales.

Au Québec, la recherche sur la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par l'association Rhizobium-légumineuses ne doit pas être négligée afin de ne pas rater notre place dans la révolution de la biotechnologie.

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements à tous nos étudiants gradués et à nos collègues et collaborateurs qui, par leur excellent travail et leurs conseils judicieux, contribuent à maintenir notre équipe de recherche très active, productive et à l'avant-garde dans la recherche sur la symbiose Rhizobium-légumineuses. Nos travaux ont été généreusement financés au fil des ans sous forme de bourses, contrats ou subventions de recherches par: Agriculture Canada; le Conseil des Recherches et Services Agricoles du Québec; le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada; le Fonds F.C.A.R.; le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec et le Ministère de l'Éducation du Québec.

RÉFÉRENCES

- ANTOUN, H., BORDELEAU, L.M., GAGNON, C. et LACHANCE, R.A. 1978a. Actinomycètes antagonistes de champignons et n'affectant pas le Rhizobium meliloti. Can. J. Microbiol. 24: 558-562.
- ANTOUN, H., BORDELEAU, L.M., GAGNON, C. et LACHANCE, R.A. 1978b. Identification des actinomycètes antagonistes de champignons et n'affectant pas le Rhizobium meliloti. Can. J. Microbiol. 24: 1073-1075.
- ANTOUN, H., BORDELEAU, L.M. et LACHANCE, R.A. 1979. Rendement de la luzerne (cultivar Saranac) inoculée avec une souche très efficace de Rhizobium meliloti en présence d'autres espèces de Rhizobium. Can. J. Plant Sci. 59: 521-523.
- ANTOUN, H., BORDELEAU, L.M., PRÉVOST, D. et LACHANCE, R.A. 1980. Absence of a correlation between nitrate reductase and symbiotic nitrogen fixation efficiency in Rhizobium meliloti. Can. J. Plant Sci. 60: 209-212.
- ANTOUN, H., BORDELEAU, L.M. et PRÉVOST, D. 1982. Strain identification in Rhizobium meliloti using the antibiotic disk susceptibility test. Plant and Soil 66: 45-50.
- ANTOUN, H., BORDELEAU, L.M. et SAUVAGEAU, R. 1984. Utilization of the tricarboxylic acid intermediates and symbiotic effectiveness in Rhizobium meliloti. Plant and Soil 77: 29-38.

- BORDELEAU, L.M. et ANTOUN, H. 1977. Effet de l'inoculation mixte avec des souches de Rhizobium meliloti sur le rendement de la luzerne, cultivar Saranac. Can. J. Plant Sci. 57: 1071-1075.
- BORDELEAU, L.M., ANTOUN, H. et LACHANCE, R.A. 1977. Effets des souches de Rhizobium meliloti et des coupes successives de la luzerne (Medicago sativa) sur la fixation symbiotique d'azote. Can. J. Plant Sci. 57: 433-439.
- BORDELEAU, L.M. et ANTOUN, H. 1978. Une méthode rapide de présélection des souches de Rhizobium meliloti. Can. J. Plant Sci. 58: 1125-1126.
- BORDELEAU, L.M., LALANDE, R. et ANTOUN, H. 1980. Oxygen and mannitol consumption of Rhizobium meliloti in relation to symbiotic nitrogen fixation efficiency. Plant and Soil 56: 439-443.
- BOURGET, S.J. 1982. La station de Sainte-Foy, Agriculture Canada, au service du Québec. Agriculture 39: 36-38.
- CALDWELL, C.D., FENSON, D.S., BORDELEAU, L.M., THOMPSON, R.G., DROUIN, R. et DIDSBURY, R. 1984. Translocation of ^{13}N and ^{14}C between nodulated roots and leaves in alfalfa seedlings. J. Exp. Bot. 35: 436-443.
- DÉNARIE, J. et TRUCHET, G. 1979. La symbiose Rhizobium-légumineuses: rôles respectifs des partenaires. Physiol. Vég. 17: 643-667.
- DREVON, J.J. 1983. Les différents organismes fixateurs d'azote. Dans: Fichier technique de la fixation symbiotique de l'azote. Légumineuse/Rhizobium - FAO - Rome.
- JOSEY, D.P., BEYNON, J.L., JOHNSTON, A.W.B. et BERINGER, J.E. 1979. Strain identification in Rhizobium using intrinsic antibiotic resistance. J. Appl. Bacteriol. 46: 343-350.
- KONDOROSI, A., BARABAS, I., SVAB, Z., OROSZ, L. et SIK, I. 1973. Evidence for common genetic determinants of nitrogenase and nitrate reductase in Rhizobium meliloti. Nat. New Biol. 246: 153-154.
- LAFRENIÈRE, C., BORDELEAU, L.M., AMARGER, N. et ANTOUN, H. 1984. Effect of heterologous bacteria and combined nitrogen on the adsorption of Rhizobium meliloti to lucerne seedling roots. Plant and Soil 82: 223-229.
- OLSEN, P.E. et RICE, W.A. 1984. Minimal antigenic characterization of eight Rhizobium meliloti strains by indirect enzyme-linked immunosorbent assay (Elisa). Can. J. Microbiol. 30: 1093-1099.

LA RECHERCHE ET L'ENSEIGNEMENT DE LA SCIENCE DU SOL - ASPECT DE
L'ORGANISATION DE LA RECHERCHE DE L'ENSEIGNEMENT DE LA SCIENCE DU SOL.

Angus F. MacKenzie

Professeur de la science du sol

Collège Macdonald de l'Université McGill

Il est difficile de séparer la recherche de l'enseignement. Lors de ce symposium il y a eu des discours concernant la recherche qui furent très informatifs et par conséquent je ne voudrais maintenant qu'accentuer les origines de nos institutions d'enseignement de la science du sol. Nous avons plusieurs institutions, écoles et universités - chacune avec ses capacités uniques mais toujours elles poursuivent le même but, c'est-à-dire l'enseignement de la science du sol. Ces institutions sont des plus importantes, dû aux besoins continus des chercheurs en sol et afin traiter de nos problèmes en sol qui s'avèrent de plus en plus nombreux et de plus en plus graves.

Nos institutions incluent les universités du Québec, de Montréal, de Laval, de Sherbrooke et de McGill. De plus, il a les instituts de technologie agricole à la Pocatière et à St-Hyacinthe. Aussi il y a le service de la recherche en sol et les instituts et centres de recherche fédéraux et provinciaux dans la province.

Commençons avec un organisme parmi les plus intéressants - la Faculté des sciences alimentaires et agricoles de l'Université Laval - celle-ci est la seule faculté de langue française en Amérique du Nord.

Dans sa forme actuelle elle a été établie en 1962 mais ses origines sont plus anciennes. Il y a deux tronçons à la faculté - L'école d'agriculture à Ste-Anne de la Pocatière fut établie en 1859 et elle est devenue la Faculté d'agriculture de l'Université Laval en 1949, mais toujours à la Pocatière. L'autre tronçon a commencé avec l'Institut agricole d'Oka qui fut établi au dix neuvième siècle mais qui fut inaugurée en 1909 sous le nom de Institut agricole. En 1908, il s'est affilié à l'Université Laval de Montréal. Les premiers finissants furent en 1911. Il y en avait trois:- Jean Baptiste Blanchard, Louis-Marie Grignon et Raphael Rousseau. C'était un début essentiel à la formation de l'agriculture au niveau de bachelier en sciences. En 1920, l'Institut agricole d'Oka s'est affilié à l'Université de Montréal puis en 1962, l'Institut agricole d'Oka fut combiné avec la Faculté d'agriculture de l'Université Laval à la Pocatière dans un seul campus - à l'Université Laval de Ste-Foy. A cette époque, le département des sols comprenaient 4 personnes mais il compte maintenant 7 personnes.

Je voudrais passer maintenant au service de la recherche en sol qui a une histoire illustrée et ancienne. Ce service aussi subit plusieurs changements de locaux et d'orientation et de temps en temps ces changements étaient vertigineux. Commençons en 1889 alors qu'il y eut établissement d'un laboratoire de chimie agricole dans l'Ecole de laiterie à St-Hyacinthe. Ce laboratoire faisait des analyses surtout d'amendements calcaires et fertilisants. Les analyses du sol ont commencé en 1915 et ont augmenté graduellement. Il est sûr qu'il y a eu bien des problèmes avec les méthodes d'analyse et ce fut une époque d'essais et d'exploration en ce qui regarde les méthodes d'analyses du

sol. Néanmoins en 1930 les effectifs du service de laboratoire comprenaient un train-école qui passait par les Cantons de l'Est et dans lequel les analyses de pH du sol étaient faites sur commande pour les cultivateurs qui apportaient leurs échantillons. C'était un effort de vulgarisation très intéressant et très innovateur pour l'époque. Mais en 1932, le Laboratoire de chimie agricole a déménagé à Québec et en 1933, une année plus tard, il est devenu le Laboratoire des sols. Là encore il y a eu un déménagement en 1938 vers Ste-Anne de la Pocatière. Les raisons ne sont pas claires mais il est évident que le laboratoire combiné avec l'Ecole d'agriculture de la Pocatière est devenu un centre d'expertise en sol que l'on devait consulter. Il est certain que la formule recherche et enseignement a débuté ici. En 1945, le Laboratoire des sols est devenu la Division des sols et en 1971, il est déménagé à Ste-Foy. En 1975, il fut élevé au niveau de Service de recherche en sol. Il est très intéressant de remarquer que le Service a passé par des chemins assez tortueux mais tout de même ses origines sont difficiles à séparer des origines de la Faculté des sciences à Laval et marque une époque dans l'histoire du Québec.

Maintenant nous devons toucher au Collège Macdonald pour lequel j'ai plus de renseignements pertinents et plus d'anecdotes pour des raisons bien évidentes. J'aimerais cependant concentrer le tout dans quelques étapes-clés. Le Collège fut établi en 1905 mais les premiers bacheliers en science agricole en sortirent en 1911 - la même année que ceux de L'Institut agricole d'Okla. Certainement que les deux, le Collège Macdonald et la Faculté des sciences alimentaires et agricoles ont commencé leur travail la même année. En 1913, les premières

recherches publiées au collège furent celles de Halliday, intitulées "Mémoires sur les analyses du sol" et en 1923, la première maîtrise en sol fut une étude sur la phosphate en sol et soumise par monsieur Beaudet. La plupart des recherches en sol des premières années furent dans les propriétés chimiques du sol. C'est avec l'arrivée de monsieur McKibben en 1926 que la recherche en sol a vraiment commencé et ce fut un point tournant pour la province. Monsieur McKibben a débuté des études du sol dans le but de faire de la cartographie pédologique des sols du Québec. En 1930, le premier rapport fut publié par messieurs McKibben et Pugsley intitulé "Soils of the Eastern Townships". Si l'on regarde cette publication de près, on remarque qu'elle traitait seulement des rochemères géologiques dans la carte et non pas des sols tels quels.

Ce ne fut pas avant 1936 que la première carte de sol fut publiée par messieurs McKibben et Stobbe, intitulée "Les sols organiques du sud-ouest du Québec". En 1937, Stobbey et McKibben ont publié "Les sols à vergers" et enfin les prochains rapports furent à l'échelle des comtés du Québec. Et puis l'évolution des rapports pédologiques au Collège Macdonald a commencé avec les études géologiques; ont passé par des études des sols spécifiques et a fini par la préparation des cartes de comtés. Durant ce temps, en 1931, le comité de fertilité du sol fut établi et la même année monsieur Rowles, professeur de Physique du sol fut engagé par le collège. Ce comité de fertilité du sol a continué jusqu'à la formation du Département des sols au Collège en 1963. Mais si on retourne dans les années trente qui furent certainement des années clés en ce qui regarde la recherche en sol, le premier doctorat fut reçu

en 1934 par monsieur Atkinson et l'étude portait sur la matière organique et l'acidité des podzols.

Il est intéressant de noter que le premier doctorat en sol au Québec, fut accordé en 1934 et le premier doctorat accordé dans les autres provinces le fut en 1957 à l'Université de Saskatchewan et tant qu'à l'Université Guelph, ce fut dans les années soixante. Certainement le Québec fut innovateur en ce qui concerne l'éducation supérieure dans le domaine des sols.

Avec les premiers étudiants post-gradués, les grandes lignes de la recherche au Québec au Collège Macdonald furent amorcées. C'est-à-dire les éléments nutritifs, la matière organique et l'acidité des sols. La même année, 1934, le comité d'enquête des sols fut établi et il incluait des représentants du Collège Macdonald, du Ministère de l'agriculture du Québec et de la Ferme expérimentale d'Ottawa. En 1937, ce comité fut élargi afin d'inclure les membres des écoles de la Pocatière et pour la première fois tous les organismes de recherche et d'enseignement en sol étaient représentés dans un seul organisme d'enquête des sols.

C'est à cette époque, 1936, que monsieur DeLong fut engagé comme professeur et il a enseigné au collège jusqu'en 1962. Durant cette période, il forma plusieurs étudiants dans le domaine de matière organique des sols, développement des sols et fertilité des sols. De toute évidence, il fut certainement un pionnier extraordinaire au Collège Macdonald en ce qui concerne la chimie du sol.

En 1963, le Département de sols fut établi et comprenait deux professeurs. L'année suivante, il a augmenté à trois professeurs et en 1973 les professeurs en sol furent incorporés dans le nouveau Département des ressources renouvelables.

L'enseignement en sol demeure toujours dans le Département des ressources renouvelables sauf pour les cours très importants de microbiologie, faune du sol, ainsi que la mécanique du sol qui proviennent des départements de Microbiologie, d'Entomologie et Génie rural.

Maintenant, tant qu'aux autres universités, elles ont leur propre enseignement en science du sol. A l'Université du Québec à Montréal, il y a plusieurs cours qui proviennent du Département de la science de la terre et géologie. De plus, à l'Université de Montréal, depuis 1962, il se donne des cours de sol dans le Département de géographie sur la pédologie et à l'Université de Sherbrooke, il y a de la recherche et l'enseignement dans la science du sol à un niveau assez important.

L'état actuel des universités nous fait croire que l'enseignement dans la science du sol couvre plusieurs autres domaines - les facultés de foresterie et géodosie à l'Université Laval; les Départements de géographie et génie civil à l'Université McGill et ainsi que dans les autres universités du sol se donne dans plusieurs cours et ils touchent le génie, la géographie, la géologie ou biologie.

Tant qu'aux instituts de technologie agricole, nous en avons deux et il faut remarquer que leurs racines proviennent d'anciens établissements de la Pocatière et de St-Hyacinthe. C'est-à-dire l'école en agriculture à la Pocatière et l'école de laiterie à St-

Hyacinthe. L'Institut de technologie agricole à la Pocatière fut établi en 1962, la même année que l'Université Laval a établi sa Faculté des sciences alimentaires et agricoles. L'Institut de technologie agricole à St-Hyacinthe fut établi en 1955 mais il est certain que les racines de ces deux instituts sont les plus importantes pour le Québec.

Pour l'avenir - quelles sont les orientations de l'enseignement et de la recherche au Québec? Il est certain que nous avons une richesse d'institutions et leur histoire est très complexe. Les premiers sujets que nous avons touchés dans la recherche ont été la fertilité, acidité et matière organique des sols. Maintenant nous devons toucher aux problèmes de dégradation, production agricole intensive, évaluation des unités cartographiques, qualité des produits agricoles, évolution de nos sols, et enfin la bio-technologie. Pour l'avenir il faudra également déterminer les moyens d'utiliser nos sols sans leur dégradation et sans la dégradation du milieu et essayer d'atteindre le plus haut niveau d'amélioration de la qualité de vie pour la population du Québec.

Il est possible de regarder en arrière et de se rendre compte combien nos connaissances en sol ont progressé ce qui fait profiter l'enseignement mais ici il est à propos de citer Einstein qui disait: "comme le radius des connaissances augmentent la circonférence de l'ignorance élargi". De plus il y a toujours les nouveaux problèmes à aborder, les nouvelles méthodes d'utilisation des appareils plus récents à exploiter. Pour attaquer les défis de l'avenir, il nous faut de meilleures organisations dans l'enseignement et la recherche en sol, afin d'établir des communications rapides, efficaces et nombreuses. Nous vivons dans une ère électronique où les moyens de communication

sont en train de révolutionner le monde et il faut faire en sorte que nous nous en servions pour transmettre nos idées, nos nouvelles méthodes d'étude des sols et indiquer les facilités disponibles pour faire des études afin de diffuser les résultats de nos recherches.

Comme nous l'avons vu et entendu, durant ce colloque, les recherches au Québec sont très étendues en sujets et elles sont très ambitieuses; elles sont basées sur une science impeccable. Pour continuer d'avancer il faut doubler nos efforts il faut continuer notre travail, partager nos résultats entre nous et travailler ensemble afin de continuer à répondre aux besoins de la société Québécoise.

Références:

- Choinière, Lucien. 1948. L'organisation provinciale de l'étude des sols du Québec. Agriculture, Juin, 162-174.
- Frost, S.B. 1984. McGill University for the advancement of learning. Vol. II, 1895-1971. McGill - Queen's Univ. Press, Kingston and Montreal.
- McKibbin, R.R. et Pugsley, L.I. 1930. Soils of the Eastern Townships of Quebec. Tech. Bull. no. 6, Macdonald College.
- McKibbin, R.R. et Stobbe, P.C. 1936. Les sols organiques du sud-ouest du Québec, Canada, Min. de l'Agr., Pubn. 499, 1-78.
- Roy, Jean-Baptiste. 1971. Histoire de la corporation des agronomes de la Province de Québec. Corp. des Agron., Bibliothèque nationale du Québec.
- Ruhnke, G.N. 1935. A statement on the report of research and experimental projects in soils underway in Canada. Sci. Agr. XV, 307-309.

Snell, J.F. 1963. Macdonald College of McGill University. A history from 1904-1955. McGill Univ. Press, Montreal.

Tabi, M. et Dubé, A. Le service de recherche en sols: hier et aujourd'hui. Min. Pêch. et Alim. du Québec, Service de la recherche en sol, Direction générale de la recherche et de l'enseignement du MAQ.

Thériault, J.E., Choinière, L. et Mailloux, A. (non daté, 1937) Les sols du comté de Bellechasse, Québec, Min. de l'Agr., Lab des sols, Ste-Anne de la Pocatière.

Discours de clôture

Influence des chercheurs en science du sol pour les milieux

Dr Marton Tabi, directeur

Service de recherche en sols

MAPAQ

Mesdames
Messieurs

Après avoir écouté nos éminents collègues transformés pour la circonstance en historiens, nous pouvons affirmer sans se tromper que nous avons vécu une journée historique! En effet, grâce à nos excellents conférenciers, nous avons pu nous rendre compte que la science du sol au Québec, malgré son âge relativement jeune, est déjà riche en actions et en réalisations. Je crois sincèrement que, grâce à nos conférenciers et grâce à vous tous, ici présents, nous venons de terminer – au moins le premier chapitre – l'histoire de cette discipline scientifique pratiquée chez nous.

Si le général De Gaulle avait entendu nos conférenciers, il n'aurait surement pas voulu répéter sa fameuse phrase: "Tous ceux qui grouillent, grenouillent, scribouillent ne font pas l'histoire!"

Un autre ancien chef d'état celui-là plus près de nous serait peut-être jaloux en apprenant qu'il y a au moins un groupe d'hommes qui maintient l'axe Nord-Sud, puisque nos chercheurs québécois sont présents aussi bien à Fort-Chimo qu'au Port au Prince! L'image symbolique représentant l'un des grands comiques du Québec, Sol, permettant de faire le jeu de mot sol-seul – ne me hante plus. En effet, si nous faisons, ensemble, le résumé de cette journée à l'aide des figures 1, 2, 3, et 4, nous pourrions nous rendre compte que les chercheurs en science du sol sont partout présents, grâce à leurs actions sur les milieux: sol – plante – homme et ne peuvent pas rester seuls parce que leurs actions déclenchent des réactions et des interactions.

Prenons à titre d'exemple l'action d'un chercheur oeuvrant dans le domaine de la chimie du sol (Fig. 1). S'il applique soit des engrais chimiques, soit des amendements organiques au sol, il exerce des actions sur celui-ci en modifiant ses propriétés chimiques, son niveau de fertilité, etc. Les changements déclenchés au niveau du sol par le chercheur peuvent influencer la réaction de la plante dont la morphologie, la croissance ou toute la vie végétative est modifiée.

LA CHIMIE DU SOL

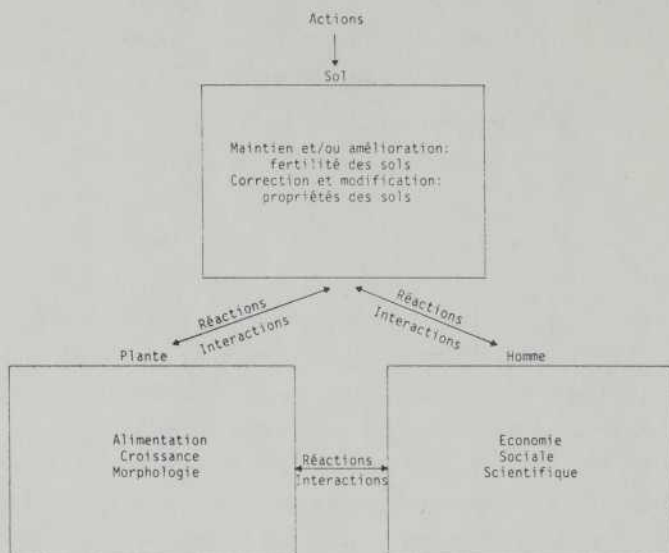


Figure 1

LA PHYSIQUE DU SOL

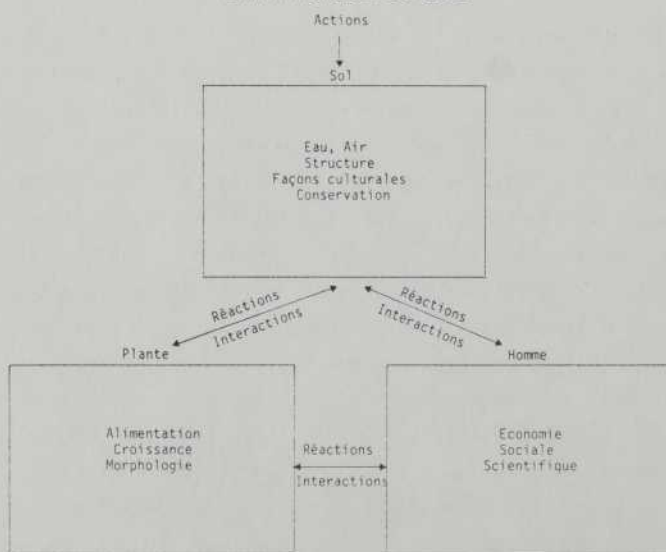


Figure 2

LA BIOLOGIE DU SOL

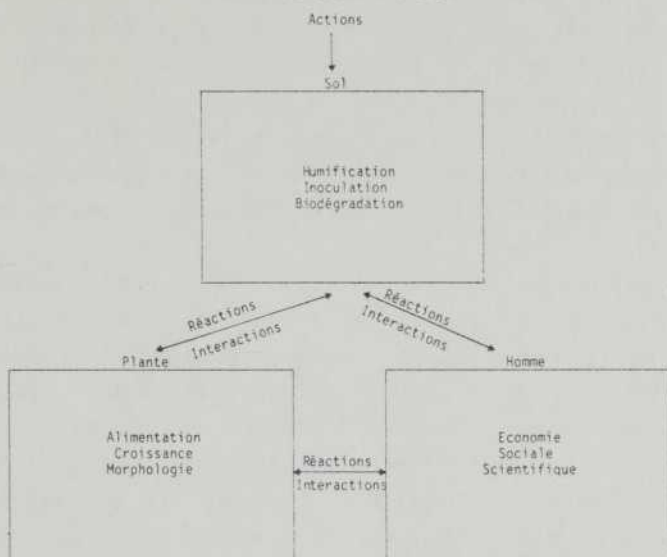


Figure 3

LA PÉDOLOGIE

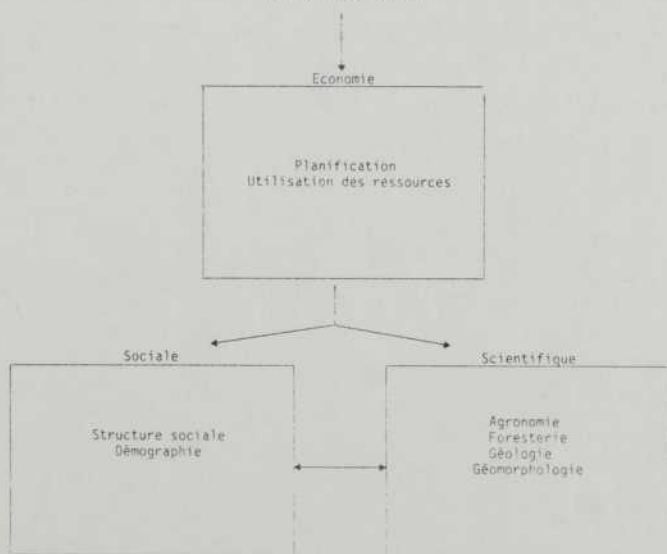


Figure 4

Les modifications causées chez la plante peuvent facilement influencer l'aspect social, la vie économique et scientifique de l'homme puisqu'en augmentant le rendement de nos plantes agricoles le sort des peuples se modifie avec leurs modes de vie.

Evidemment l'exemple du chercheur en chimie des sols n'est pas unique. Si vous examinez la Fig. 2 et la Fig. 3, et si vous appliquez le même raisonnement, vous pouvez constater l'influence similaire des autres chercheurs aussi sur les milieux.

Parmi les chercheurs en science du sol, de façon habituelle, les pédologues surtout dans le contexte nord-américain, ne modifient pas la nature du sol. Néanmoins leur rôle reste éminemment important du point de vue économique, sociale et scientifique. En effet, en décrivant les propriétés physico-chimiques et en délimitant les aires des différents types de sols, ils aident à utiliser de façon rationnelle notre milieu terrestre et par le fait même ils contribuent à notre mieux être. Faute de temps, je ne peux pas continuer à souligner l'importance des rôles que les chercheurs en science du sol jouent dans les différentes activités terrestres et humaines.

Mais je sais que ces rôles deviennent de plus en plus importants puisque l'utilisation rationnelle de nos sols nous impose des responsabilités accrues. Pour assurer nos responsabilités et pour mieux remplir notre rôle vis-à-vis la société québécoise, j'exprime donc le voeu que cette assemblée se prononce en faveur de la formation d'une association ou d'un institut regroupant tous les chercheurs intéressés à la sauvegarde et à l'utilisation rationnelle de notre patrimoine: LE SOL.

Rapport de la réunion de formation de
l'Institut de Pédologie du Québec, à Chicoutimi le 23 mai 1985

par

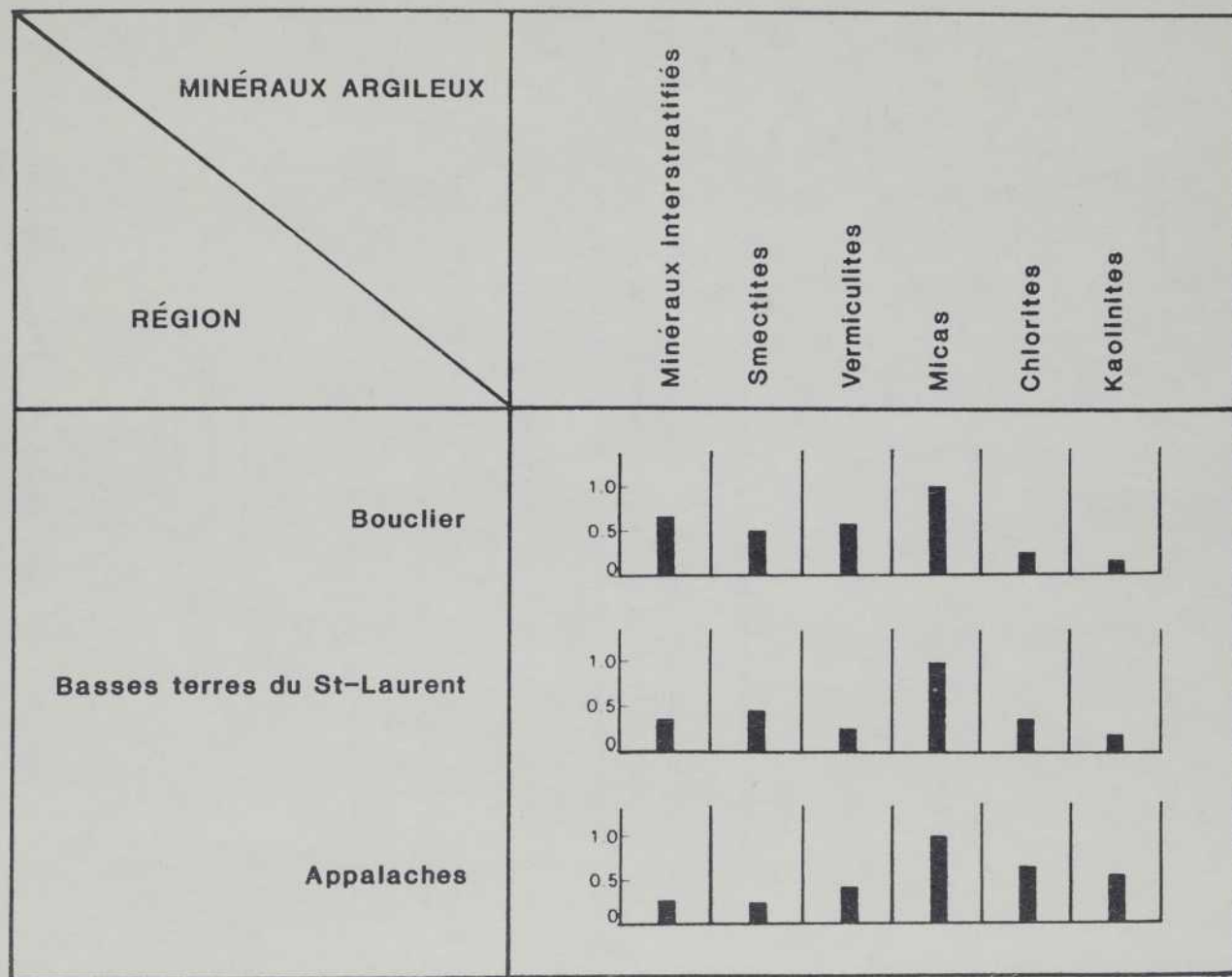
Lauréan Tardif, chef
Division de Pédologie
Service de recherche en sols
MAPAQ

Suite au voeu exprimé par le Dr Marton Tabi, l'assemblée adopte une proposition de principe reconnaissant l'importance de la formation d'une association des scientifiques en sols au Québec, identifiée provisoirement comme "Institut de Pédologie du Québec".

Il s'en suivit la création d'un comité provisoire chargé d'élaborer les statuts et règlements pour le prochain congrès de l'ACFAS, à Montréal en 1986.

Les personnes dont les noms suivent furent nommés membres dudit comité: Marton Tabi, à la présidence, Camille Laverdière, Michel Nolin, Serge Payette, Claude Camiré, Jean-Louis Brown, Jean-Claude Dionne, Christian De Kimpe, Angus McKenzie, Hani Antoun et Roger Rivest.

Les quelque soixante scientifiques présents assurèrent le comité de leur entière collaboration.



LA CHIMIE DU SOL

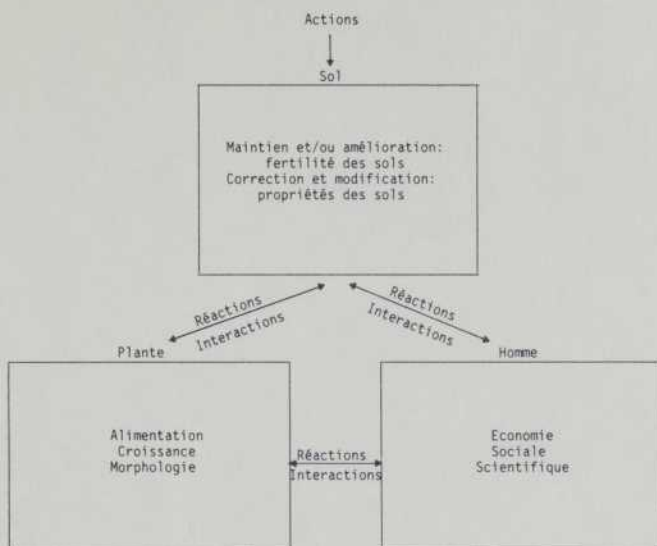


Figure 1

LA PHYSIQUE DU SOL

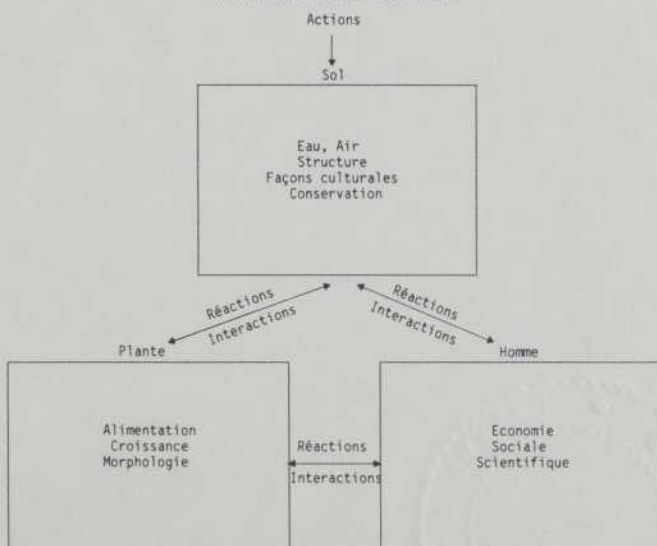


Figure 2

LA BIOLOGIE DU SOL

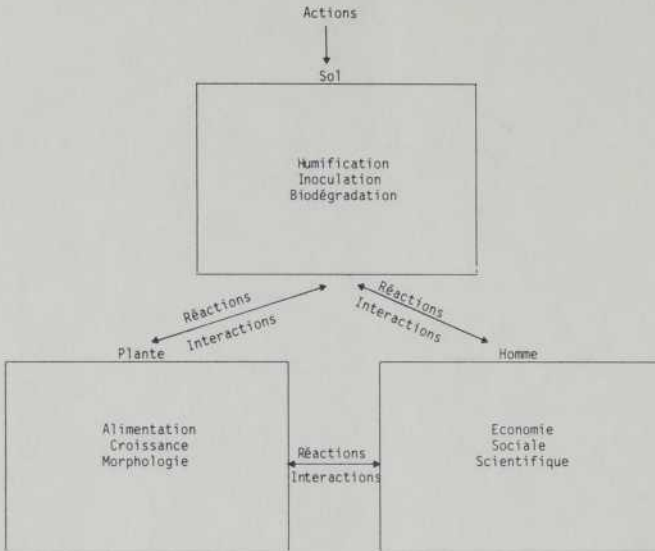


Figure 3

LA PÉDOLOGIE

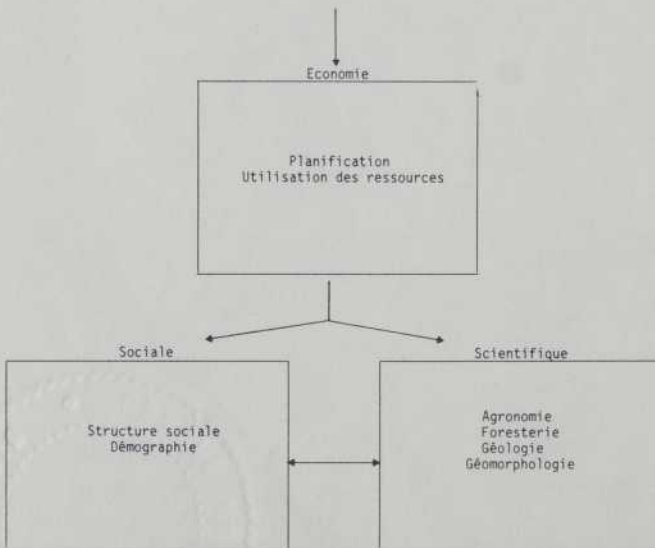


Figure 4



Achevé d'imprimer
en janvier 1986 sur les presses
des Ateliers Graphiques Marc Veilleux Inc.
Cap-Saint-Ignace, Qué.





Les publications de l'ACFAS

Les Annales de l'ACFAS

Comptes-rendus des communications présentées aux congrès de l'ACFAS, de 1935 à 1985.

INTERFACE: la revue des chercheurs (bimestrielle)

Les Cahiers de l'ACFAS

1. Les contraintes au développement du Moyen-Nord (1979)
2. La thérapeutique de l'obèse adulte (1979)
3. Le comportement moteur du déficient mental (1979)
4. Dix ans de recherche québécoise sur la littérature française (1980)
5. La recherche gérontologique au Québec (1980) (épuisé)
6. L'entrepreneuriat et la P.M.E. au Québec (1980) (épuisé)
7. Biologie du vieillissement (1981)
8. Stratégies de conservation de l'eau en Sagamie (1981)
9. Étude et répression des mauvaises herbes (1981) (épuisé)
10. L'ACFAS à travers 50 congrès (1982)
11. Recherches sur le troisième âge (1982)
12. Études supérieures et recherche en ingénierie (1982)
13. La recherche gérontologique au Québec (1982)
14. De la science au musée (1983)
15. Confessionnalité et pluralisme dans les écoles du Québec (1983)
16. Crise économique, transformations politiques et changements idéologiques (1983)
17. L'aménagement au Québec: 3^e colloque biennal (1983)
18. La charte canadienne des droits et libertés (1983)
19. Philosophie et éducation (1984)
20. Informatique et société (1984)
21. La sidérurgie dans l'optique du Québec (1984)
22. Être femme de science (1984)
23. Les ressources humaines et la croissance économique (1984)
24. Recherches en gérontologie (1984)
25. Technologie et politique au Canada. Bibliographie: 1963-1983 (1984)
26. Quelques recherches en biomathématiques (1985)
27. Recherches en gérontologie II (1985)
28. Le droit et l'informatique (1985)
29. Ordinateur et éducation (1985)
30. Le contrôle social en pièces détachées (1985)
31. Aménagement et pouvoir local (1985)
32. La science politique dans les sociétés contemporaines (1985)
33. La sociologie et l'anthropologie au Québec (1985)
34. La personne âgée et la famille (1985)
35. La recherche en hydrologie au Québec (1986)
36. Bioéthique et philosophie (1986)
37. Rétrospective de la recherche sur les sols au Québec (1986)