

16^e congrès mondial de la Science du Sol

Organisé par l'Association Française pour l'Étude du Sol (A.F.E.S.)
Sous l'égide de l'Association Internationale de la Science du Sol (A.I.S.S.)
à Montpellier, du 20 au 26 août 1998
Compte rendu succinct des travaux

Marcel JAMAGNE - Coordinateur

INRA - Unité de Science du Sol, SESCPF, BP 20169 Ardon - 45166 Olivet

PRÉAMBULE

Ce rapport de synthèse sur les activités scientifiques du 16^e Congrès Mondial de Science du Sol de Montpellier a été élaboré et mis en forme sur les bases suivantes. Ont été pris en compte, d'une part un certain nombre de comptes rendus de Symposiums rédigés ou esquissés au cours du Congrès lui-même par les animateurs respectifs, d'autre part une analyse effectuée par le coordinateur à partir des résumés des principales communications.

Ce travail n'ayant pu être réalisé qu'en fonction des données disponibles, on pourra noter un certain déséquilibre entre différents domaines d'activités.

Néanmoins, nous pensons que cette synthèse, bien que certainement incomplète dans son état actuel, constitue une trace tangible de l'événement important qui fut pour tous nos membres, et pendant plusieurs années, un objectif professionnel majeur.

Il n'était pas concevable de rédiger un résumé de ce travail, que ce soit en français, en anglais ou en espagnol, comme nous le faisons systématiquement; mais il faut signaler qu'une version condensée de ce rapport vient d'être publiée en langue anglaise dans le dernier numéro du Bulletin de l'UISS, consacré en partie aux activités du Congrès.

Remercier individuellement tous les collaborateurs et correcteurs est bien entendu impossible, mais ils se reconnaîtront aisément. Un grand merci donc à tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce document, qui comporte ce que nous pensons être les idées essentielles discutées lors du Congrès.

OBJECTIFS DU 16^e CONGRES

Un certain nombre d'idées fortes avaient conduit à proposer le thème de ce 16^e Congrès :

“Fonctionnement actuel des systèmes pédologiques mondiaux en relation avec les divers types d'utilisation des sols par les sociétés humaines”.

Des « recommandations » avaient été émises lors du 15^e Congrès Mondial de Science du Sol d'Acapulco, en 1994, dont on peut rappeler notamment :

- que la Science du Sol doit s'élargir par des contacts privilégiés avec les autres disciplines traitant de la connaissance du milieu naturel, et doit prendre en compte les besoins des différents systèmes sociaux existant de par le monde ;
- que les observations et travaux de terrain sont à soutenir, car ce sont eux qui permettent de générer les recherches, de tester les hypothèses et les résultats obtenus et de valider les modèles ;
- qu'il convient : de prévoir les risques de dégradation des sols, notamment par la mise au point de méthodes d'estimation quantitatives ; d'intensifier les recherches dans le domaine des relations qualité des sols / qualité des eaux ; de prendre en compte les problèmes de l'environnement périurbain ; de développer l'éducation, la communication et la diffusion de l'information.

Quelles furent, dans ce prolongement, les grandes directions de travail du 16^e Congrès, quatre ans plus tard ?

- Faire en sorte que la Science du Sol existe par elle-même et non pas seulement par ses applications. Le programme scientifique du 16^e Congrès a été conçu en tenant compte de cet impératif. La recherche fondamentale en science du sol : morphologique, physique, chimique, biologique, pédogénétique, doit être soutenue et développée. Il ne peut y avoir de recherche appliquée de qualité sans recherche fondamentale de qualité.

- Intensifier les relations avec les autres disciplines scientifiques ; la Science du Sol a besoin de travailler avec les autres sciences, qui ont elles-mêmes besoin de travailler avec la Science du Sol.

- Développer les recherches et les études concernant les relations entre les sols et les activités humaines, entre les systèmes pédologiques et les systèmes sociaux.

- Structurer et développer l'éducation en Science du Sol, la formation à la connaissance des sols.

DÉROULEMENT DU CONGRÈS

La Séance Inaugurale

- Allocutions d'ouverture

Ouverte par le Président A. Ruellan, et animée par Mme M. Eimberck, Secrétaire Générale de l'AFES, la première partie de cette séance a permis à différentes personnalités d'intervenir : MM M. Jamagne, Président de l'AFES et Vice-Président de l'AISS ; W. Blum, Secrétaire Général de l'AISS ; B. Lesaffre, représentant les Ministères français de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ; J. Meyer-Roux, représentant l'Union Européenne et les organisations internationales ; M. de Nucé de Lamothe, Président d'Agropolis et représentant des organismes de recherche français ; M. Guibal, représentant de la ville de Montpellier.

- Conférences introductives

Quatre conférences introductives ont été présentées par des personnalités scientifiques largement reconnues : José Pereira de Queiroz Neto du Brésil, Garrison Sposito des Etats Unis, Michael Swift du Kenya et Marc Latham de France, qui ont chacun évoqué les grands thèmes des travaux prévus pour le Congrès.

- Table ronde

Animé par le Président, un vaste débat a ensuite pris place, sur les thèmes suivants : les objectifs de la science du sol, les défis que cette dernière doit relever et les services qu'elle peut et doit rendre. Ont participé à cette table ronde : d'une part les quatre conférenciers, d'autre part différentes personnalités éminentes non spécialistes de science du sol, mais de la physique, de la chimie, de la géochimie, de la biologie, de l'économie, de la gestion des terres, de l'aménagement.

Les activités scientifiques des Symposiums et Ateliers

Plus de 2500 participants, en provenance de 100 pays, ont présenté et discuté près de 2000 communications, dans le cadre de 45 symposiums et de 6 ateliers, dont 1700 sous forme de posters.

Ces symposiums étaient regroupés par Commissions ou Sous-commissions, ou correspondaient à des Groupes de travail ou à des Comités permanents. Ils comportaient 6 à 7 communications orales, dont une sur invitation, ainsi que la présentation de posters durant deux demi-journées. Une large discussion entre les participants a efficacement clôturé chacun d'entre eux. Chaque séance de posters a donné lieu à une récompense de la meilleure présentation.

Les réunions du Conseil de l'AISS

Cinq réunions du Conseil de l'AISS se sont tenues durant le Congrès, concrétisant notamment la restructuration de notre association en Union Internationale des Sciences du Sol, UISS, dans le cadre de son intégration à l'ICSU (International Council of Scientific Unions).

Les expositions

Les expositions traditionnelles, scientifiques et techniques ont permis aux congressistes d'approcher de manière concrète un ensemble de réalisations récentes et de techniques modernes dans les différents domaines de la science du sol.

La nouveauté a résidé dans la tenue d'une importante exposition concernant toutes les possibilités d'éducation en science du sol, ouverte au grand public, et dont le succès fut particulièrement grand.

Les tournées scientifiques

Quatorze tournées scientifiques, en France, en Europe et en Afrique, ont précédé, accompagné et suivi le Congrès. Un grand nombre de participants, 220 pour les pré- et post-congrès, et 650 pendant le congrès, ont pu apprécier la présentation de sols très différents, répartis dans des paysages très variés, en prenant connaissance de leur utilisation, des influences anthropiques, et des mesures de conservation appropriées.

La cérémonie de clôture

Au cours de cette cérémonie, un premier bilan du Congrès a été présenté par A. Ruellan, Président du Congrès, G. Pédro, Président du Comité Scientifique, et W. Blum, Secrétaire Général de l'UISS. Les résultats de l'élection des nouveaux membres d'Honneur de l'UISS ont été annoncés, ainsi que ceux concernant la sélection des meilleurs posters du Congrès, effectuée par Mme S. Staunton et les Professeurs A. Tanaka et A. Aguilar Santelises.

Une allocution a été prononcée par le représentant de la ville de Montpellier, qui a honoré trois membres éminents de notre Union, MM. W. Blum, L. Thiombiano et B. Tinker, en leur remettant une médaille commémorative de la cité.

Ensuite, le Dr Pongpol Adireksan, Ministre de l'Agriculture du Royaume de Thaïlande, a officiellement invité tous les membres de l'Union à se rendre à Bangkok en 2002 à l'occasion du 17^e Congrès Mondial de la Science du Sol.

Enfin, A. Ruellan et M. Jamagne, Président et Vice-Président de l'AISS ont passé le relais à leurs successeurs dans le cadre de l'UISS, MM Sampong Theeravong et Irb Kheoruenromme, en leur souhaitant bonne chance pour une poursuite fructueuse des activités de l'Union Internationale des Sciences du Sol.

ESSAI DE SYNTHÈSE DES TRAVAUX

Cet essai a été réalisé sur la base des résultats significatifs obtenus au cours des différents symposiums dont on trouvera le détail plus loin.

En physique du sol

Le système sol-eau demeure la préoccupation majeure en physique du sol. On note de ce fait des améliorations importantes dans l'analyse et les mesures des propriétés hydrodynamiques des sols par des méthodes nouvelles, dont les approches fractales, les techniques de percolation, associées notamment à la logique floue. Des expérimentations sont menées sur l'utilisation de techniques modernes : scanners, résonance magnétique nucléaire.

Les études récentes montrent que beaucoup de propriétés des sols dépendent de l'association intime de particules très fines d'argiles, de matières organiques et d'oxydes. Les associations argile-matière organique du sol jouent notamment un rôle fondamental sur la stabilité des sols dans un contexte spatial multi-échelles, de l'agrégat au bassin versant.

En ce qui concerne les transferts d'eau dans le sol, de nouveaux modèles de milieux poreux ont été présentés, ainsi que de spectaculaires développements des techniques d'imagerie permettant d'observer la géométrie de l'espace poral et la morphologie des particules.

Les méthodes non destructrices et indirectes sont donc maintenant largement préconisées, car elles permettent de se rapprocher le plus possible des conditions du milieu naturel, et ainsi de favoriser les possibilités de transfert d'échelle, c'est-à-dire la généralisation des données recueillies au niveau d'unités de paysage.

Des avancées récentes ont permis de mettre en évidence des développements potentiels de la technique de réflectométrie dans le domaine temporel pour le suivi de l'humidité des sols, et la prise en compte des phénomènes d'hydrophobicité dus aux constituants organiques du sol.

Des progrès importants sont également enregistrés d'une part dans la mise au point de dispositifs de mesure in situ pour l'observation dans l'espace et dans le temps des voies de flux préférentielles, d'autre part dans la prévision des flux polluants vers les eaux souterraines et de surface, en prenant en compte la distribution spatiale des sols, les pratiques agricoles et les discontinuités créées par l'homme.

Deux voies de recherche apparaissent très porteuses pour l'avenir : relier processus de transfert et description du système poral, et étudier de nouvelles approches de modélisation reliant caractéristiques de la porosité et prévision des flux préférentiels.

En chimie et minéralogie du sol

La période des analyses sur matériaux déstructurés semble révolue, et des méthodes d'analyse très sensibles et séparatives sont maintenant utilisées pour caractériser les substances humiques et les espèces chimiques minérales à l'état de traces.

La réactivité de systèmes complexes proches du sol « réel » peut être étudiée, et la prise en compte de la variabilité spatiale intervient : taille des particules, type de structure du sol.

De nombreux auteurs ont traité du devenir, de la mobilité, de la spéciation, de la dynamique, de l'extractabilité des métaux, des métalloïdes et des radionucléides dans les sols et leurs constituants.

Un point essentiel semble devoir motiver maintenant la communauté scientifique concernée : intégrer plus systématiquement la variable potentiel d'oxydo-réduction dans les études de mobilisation / immobilisation des éléments minéraux, mettant en évidence l'importance des phénomènes majeurs d'aérobiose / anaérobiose.

La localisation et l'incorporation des éléments traces dans les fractions fines minérales des sols contaminés est d'une grande importance. Certains éléments sont particulièrement toxiques, même à très faible concentration.

De nouvelles techniques sont progressivement mises au point : spectroscopiques et microanalytiques, pour pouvoir réaliser des déterminations pour des concentrations très faibles.

Une des avancées les plus importantes enregistrées est l'application de techniques développées sur rayonnement synchrotron. Elles permettent notamment, par l'utilisation de différents types de rayonnements X, de détecter des teneurs très faibles, fournissant des renseignements au niveau atomique ou moléculaire.

En ce qui concerne l'acidification des sols, le problème est ici celui du pouvoir tampon, lié essentiellement au taux d'altération. L'évaluation de l'impact des apports atmosphériques acides sur les sols et les écosystèmes implique de calculer les charges critiques tolérables pour ces systèmes en vue de limiter les émissions.

Dans le domaine des interactions organo-minérales, ont été abordés différents thèmes concernant les interactions entre microorganismes et minéraux et microorganismes et matière organique.

On peut affirmer que les interactions entre les constituants du sol et les microorganismes influencent la transformation métabolique des composés organiques naturels et le devenir des métaux.

Il convient d'autre part de mettre l'accent sur les innovations méthodologiques récentes permettant l'étude des processus physiques et chimiques dont la rhizosphère est le siège.

En ce qui concerne la chimie tout d'abord, les variations de pH et de concentrations ioniques peuvent être maintenant quantifiées par la micropotentiométrie et la vidéodensitométrie d'indicateur coloré, permettant notamment l'accès à la mesure des flux de protons libérés dans la rhizosphère.

La mise au point de micro-bougies poreuses permet le prélèvement in situ de micro-échantillons qui sont ensuite analysés par électrophorèse capillaire.

En ce qui concerne les propriétés physiques de l'environnement immédiat des racines, d'autres techniques nouvelles, telle la tomographie de rayons X ou certaines approches bio-mécaniques semblent très porteuses.

En biologie des sols

Ce congrès a vu s'accroître la prise de conscience de la communauté scientifique sur l'importance de l'activité des organismes vivants dans la formation des sols, dans l'acquisition de leurs caractères et de leurs propriétés, ainsi que sur le transfert de matière, sur la transformation de la matière organique et sur la stabilisation des produits organiques.

L'élaboration d'un certain nombre de définitions a été tentée en biologie des sols, dont celle de « domaine fonctionnel » : zone du sol soumise à l'influence d'un facteur régulateur dominant, biotique ou abiotique.

La biodiversité de la microflore, boîte noire jusqu'à ces derniers temps, peut maintenant être évaluée grâce aux techniques de la biologie moléculaire.

L'impression générale est que nous évoluons particulièrement vite sur ce thème, par l'intermédiaire des nouvelles techniques, et les facteurs contrôlant la biodiversité sont progressivement révélés.

Les nouvelles tendances en biologie des sols sont : - recherches sur le rôle fonctionnel de la faune du sol, - prise en compte de l'hétérogénéité spatiale, notamment par l'utilisation d'approches géostatistiques, - évaluation des changements dans la biodiversité, à plus ou moins long terme, par la mise en place de sites de références constituant des observatoires.

En analyse spatiale

On note des avancées significatives dans l'analyse et la compréhension de la distribution des sols dans les paysages, grâce à des méthodes nouvelles et des outils modernes.

Il faut mentionner notamment : - l'utilisation des SIG et des MNT, - l'utilisation simultanée de différentes données satellitaires, - de nouvelles stratégies d'échantillonnage, - des techniques géophysiques non destructrices, - la prédiction de propriétés des sols par modélisation mathématique.

Le pédologue de terrain voit donc ses outils classiques puissamment renforcés par ces nouvelles techniques, et l'information ainsi recueillie est bien plus complète que ce que les cartes pouvaient fournir.

Deux grands thèmes ont donc été traités durant ce Congrès : d'une part l'acquisition de données spatialisées sur les sols par de nouvelles techniques et outils modernes, d'autre part l'élaboration de systèmes d'information et leur utilisation pour l'évaluation des terres.

Des orientations pour le futur ont été mentionnées : - compléter les méthodes classiques par d'autres, issues de la géophysique par exemple, - développer des méthodes de modélisation, - appliquer les principes de la logique floue et de l'intelligence artificielle pour évaluer les incertitudes inhérentes à l'utilisation des cartes, - s'efforcer d'harmoniser l'information pour permettre les échanges de données et une standardisation indispensable de la définition de la qualité des sols.

Le nouvel outil de travail constitué par le WRB (World Reference Base for Soil Resources) est destiné à unifier les efforts de tous les spécialistes des sols du monde et à faciliter la communication entre eux. Une motion a été présentée pour inciter l'ensemble des membres de l'UISS à utiliser ce référentiel international.

En technologie des sols

Dans le domaine de la conservation des sols et des eaux, l'érosion des sols est un fléau endémique, qu'elle soit hydraulique ou éolienne, et qui est très liée aux excès des activités humaines.

Ce qui ressort des travaux présentés est l'importance qu'il convient d'accorder à la répartition spatiale des horizons de surface et de la différenciation des sols. Ceci d'une part pour la compréhension des processus de ruissellement et d'érosion hydrique des sols, et d'autre part pour l'efficacité des techniques de conservation à préconiser.

Le système épurateur sol-plante, les capacités épuratrices des matériaux, les irrigations fertilisantes avec des eaux usées, l'impact des boues résiduaires et des composts de déchets organiques, sont autant de thèmes qui animent de nombreux débats scientifiques, écologiques et politiques.

Une technologie nouvelle est apparue récemment : celle des « sols reconstitués », pour réhabiliter d'anciennes carrières ou des sites industriels abandonnés (mines), pour améliorer des sols de déblais par des apports de déchets organiques (boues d'épuration), pour préparer des substrats utilisés en horticulture (mélanges à base de tourbes) ou en maraîchage sous serre. Les sols artificiels concernent des sols reconstitués pour des plantations urbaines, ceux des espaces verts, des digues, des talus de routes. D'autres correspondent à des matériaux pour isolation et végétalisation.

Il est évident que d'autres méthodes que les déterminations traditionnelles peuvent s'avérer indispensables pour étudier les sols artificiels.

En fertilité des sols

Il s'est dégagé un intérêt particulièrement fort pour tout ce qui concerne une approche organique et biologique de l'évaluation de la fertilité. En effet, si la fertilisation minérale, quelle que soit sa forme, apparaît toujours comme une nécessité, elle n'est pas toujours suffisante sur le long terme pour assurer la durabilité des systèmes de culture, si elle n'est pas associée à une gestion organique et biologique des sols.

L'évaluation de la biodisponibilité des éléments du sol est une approche intégrative de la mobilité et de l'utilité des nutriments

aussi bien que celle de la toxicité ou l'innocuité des polluants. Il s'agit d'une nouvelle approche de la gestion durable des ressources naturelles qui permet une fertilisation adaptée tant à court terme qu'à long terme.

Les aspects socio-économiques de la fertilité et des problèmes environnementaux ont été pris en compte à différents niveaux. Ont été mis en évidence d'une part l'importance de la perception de la fertilité par les agriculteurs, d'autre part l'intérêt et la nécessité des approches « participatives » en plaçant l'agriculteur en amont, au centre et en aval de la recherche.

Même si la communauté scientifique y est sensible, il reste cependant une forte nécessité à encourager les chercheurs à développer des jeux d'indicateurs simples et robustes de la « qualité des terres » qui puissent être utilisés tant aux échelles locales que régionales pour aider aux prises de décisions techniques, économiques et politiques en matière d'alternatives pour une gestion durable des terres.

Dans le domaine sols et environnement

L'intérêt récent pour l'étude des sols urbains et suburbains, comme écosystèmes intensément liés à l'activité humaine, a conduit à une forte mobilisation de la communauté scientifique, car ils posent des problèmes nouveaux

Les sols dans la ville constituent un carrefour de nombreuses disciplines, et les scientifiques de science du sol qui s'en préoccupent doivent nécessairement travailler avec d'autres spécialistes : historiens, archéologues, économistes, sociologues, ingénieurs, médecins, juristes...

Un des thèmes les plus étudiés a donc été celui concernant les éléments traces métalliques dans les sols, et la nécessité de la prise en compte du fond géochimique naturel est devenue évidente.

Dans un autre domaine crucial, la forte relation entre l'utilisation des terres cultivées et les émissions gazeuses par le sol peut jouer un rôle déterminant dans les changements climatiques.

Le rôle des prairies, forêts et terres cultivées comme puits et sources dans le bilan de « gaz à effet de serre » est l'objet de nombreuses études actuelles. Les processus microbiologiques et chimiques dans les sols sont générateurs de ces gaz et d'autres gaz traces chimiquement réactifs.

Ces gaz sont identifiés (CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , NH_3), leurs proportions calculées et leurs effets sur l'environnement étudiés : réchauffement, eutrophisation et acidification.

Une question importante demeure : la quantification des flux gazeux vers l'atmosphère.

En ce qui concerne sol et qualité de l'eau, c'est le bassin versant qui représente de manière évidente l'unité paysagique à prendre en compte.

On note enfin la progression d'une réflexion aux plans nationaux et européen sur la surveillance de la qualité des sols et la mise en place d'observatoires.

En réhabilitation des sols

Ont été traités les grands types de contamination et de dégradation, sur de nombreux types de sols et dans des milieux plus ou moins anthropisés de différentes régions climatiques.

Les possibilités de traitement des pollutions inorganiques (métaux et non-métaux) par phytoremédiation ont été abondamment évoquées. Cette approche apparaît comme une voie particulièrement prometteuse pour l'avenir, dans le cadre de la biotechnologie de l'environnement.

La validité d'indicateurs chimiques, biologiques et physiques en tant que critères d'évaluation des risques et d'appréciation de la réhabilitation des sols pollués, soit par des produits organiques, soit par des éléments traces métalliques, a fait l'objet de nombreuses discussions.

L'appréciation des niveaux de pollution ou des niveaux de réhabilitation se pratique cependant actuellement sans définition de seuils, alors que la demande en protection de l'environnement l'exigerait.

Importance de l'histoire des sols

De tous temps, les sols ont constitué un facteur vital de l'évolution des sociétés humaines. La connaissance du passé devrait nous éclairer et nous aider à trouver un équilibre approprié et satisfaisant dans les actions humaines, entre profit et détérioration des sols.

Pour l'éducation en science du sol

La nécessité d'une éducation globale dès le plus jeune âge pour faire connaître le sol et son importance dans la vie quotidienne des peuples est fondamentale. La présentation de très nombreuses expériences pédagogiques, avec des moyens très divers, a notam-

ment concerné : la découverte sur le terrain des sols dans les paysages, la prise de conscience de son importance vitale, l'éducation en science du sol proprement dite.

QUELQUES RÉSULTATS SIGNIFICATIFS DES TRAVAUX DES 45 SYMPOSIUMS

Commission I -

PHYSIQUE DU SOL

Symposium 01 - Nouveaux concepts et théories en physique du sol et leur importance pour étudier les effets de l'activité humaine

Si le système sol-eau demeure la préoccupation majeure en physique du sol, on note un accroissement du nombre d'études traitant des propriétés de transfert des gaz et par conséquent du système sol-eau-gaz.

On note de ce fait des améliorations importantes dans l'analyse et les mesures des propriétés hydrodynamiques des sols par des méthodes nouvelles, dont les approches fractales, les techniques de percolation, associées notamment à la logique floue. Des expérimentations sont menées sur l'utilisation des scanners et de la résonance magnétique nucléaire, et d'autres techniques sophistiquées. Les données obtenues permettent de mieux suivre l'évolution du comportement du sol sans ou avec référence au système sol-plante-atmosphère.

Les innovations au plan méthodologique permettent notamment de quantifier des évolutions à des échelles de temps très courtes. Ces données apparaissent extrêmement utiles pour étudier le fonctionnement du sol au plan physique, mais aussi l'influence des phénomènes biologiques sur les propriétés physico-chimiques.

En ce qui concerne les transferts d'eau dans le sol, de nouveaux modèles de milieux poreux ont été présentés, ainsi que de spectaculaires développements des techniques d'imagerie permettant d'observer la géométrie de l'espace poral et la morphologie des particules. D'importants progrès seront très vraisemblablement faits dans les prochaines années quant à la connaissance de la géométrie du réseau de pores dans les trois directions de l'espace, donnée essentielle pour discuter de la connectivité et des propriétés de transfert.

Les méthodes non destructrices et indirectes sont donc maintenant largement préconisées, car elles permettent de se rapprocher le plus possible des conditions du milieu naturel, et ainsi de favori-

ser les possibilités de transfert d'échelle, c'est-à-dire la généralisation des données recueillies à l'échelle de l'horizon, voire du profil de sol, vers des échelles comme celle du versant ou de la séquence de sol, passage très souvent obligé pour une généralisation à l'échelle d'unités de paysage.

Dans le renouvellement des modèles de prédiction, une difficulté importante consiste à rendre compte de la variabilité du sol en fonction de sa constitution et de son organisation spatiale. Dans ce symposium, l'accent est sans doute encore trop mis sur la phase aqueuse, avec peu de référence à la concentration des solutions ni aux changements que cela induit au plan de la structure du sol. Il en résulte que le sol est encore largement appréhendé comme une boîte noire « remplie d'eau pure ».

Symposium 02 - Dynamique de la structure des sols, en relation avec divers systèmes d'aménagement

Dans ce symposium, l'accent est mis sur la structure du sol à l'échelle de l'horizon. C'est à cette échelle que le sol est certainement abordé de la façon la plus aisée, c'est-à-dire au regard des multiples facettes de ses propriétés physiques et des contraintes liées à l'approche expérimentale. Il n'en reste pas moins que c'est bien à l'échelle de l'ensemble du profil du sol (succession d'horizons ou de couches) qu'il serait souvent nécessaire d'apprécier les modifications de structure induites par les différents modes d'utilisation et leur dynamique temporelle.

A ce titre, il faut constater que la presque totalité des travaux présentés ne concernent que les horizons de surface des sols, très peu de données se rapportant aux horizons plus profonds. Les quelques travaux ayant concerné les horizons profonds montrent que ceux-ci peuvent être aussi considérablement modifiés en fonction des systèmes d'aménagement. De tels travaux seront certainement appelés à se développer dans les prochaines années.

Un grand nombre de contributions ont concerné les sols de la zone tropicale et inter-tropicale car la dégradation de la structure y est souvent un processus de dégradation marqué, les sols cultivés dans ces zones possédant le plus fréquemment une faible stabilité structurale. Les contributions posent aussi la question de la réhabilitation de ces sols et en particulier dans les périmètres irrigués.

L'analyse de la porosité, comme outil d'analyse de la structure et des propriétés de transfert, concerne essentiellement les macropores. Elle est utilisée pour discuter les variations de structure induites par les différents modes d'utilisation des sols. Plusieurs études montrent cependant que les pores liés au mode d'assemblage des particules élémentaires peuvent également être affectés par la mise en culture. C'est donc l'ensemble du système poral qui peut être affecté, des échelles les plus fines jusqu'à celles observables à l'œil nu. Ce dernier

point devrait faire l'objet d'une attention accrue dans l'avenir.

De même devraient être développées les études faisant appel aux concepts et aux outils de la mécanique des sols. Quelques approches innovantes ont été présentées dans le cadre de ce symposium. A ce titre on note un progrès dans la compréhension des relations entre contraintes hydriques et mécaniques.

Les sols argileux, sols à texture fine ou sols riches en oxydes métalliques, sont toujours l'objet de nombreuses recherches : analyse des propriétés de gonflement-retrait selon les teneurs en eau, variations de la porosité, études sur le décompactage grâce à des rotations culturales adaptées. Cela pose le problème de la durabilité des monocultures, de la canne à sucre par exemple.

Le symposium démontre in fine que les données physiques relatives aux propriétés des sols, notamment l'étude de la structure en relation avec les phases fluides, constituent un moyen privilégié de diagnostic de l'évolution actuelle de la qualité des sols.

Symposium 03 - Transferts de masse et d'énergie dans les sols

Ce symposium a revêtu une importance particulière par rapport aux questions actuelles posées sur la dynamique des éco/agrosystèmes. Si l'horizon de sol constitue l'entité caractéristique et homogène nécessaire à toute étude, toute prédiction des propriétés et quelle qu'en soit la finalité, nécessite de prendre en compte le sol dans sa dimension spatiale.

La question du sol en tant qu'interface avec le milieu extérieur est particulièrement centrale, notamment par rapport aux transferts à grande distance comme la circulation des eaux profondes et superficielles, avec leurs charges respectives en solutés et particules, ainsi que pour les transferts vers l'atmosphère sous forme gazeuse (vapeur d'eau, composés de C, N, S, pesticides...).

Les transferts de masse et d'énergie dans les sols ne sont pas seulement significatifs d'un bon fonctionnement du sol mais ils sont aussi essentiels dans le rôle que le sol joue dans la protection de l'environnement et des ressources en eau.

Une mise au point sur les avancées les plus récentes a permis de mettre en évidence :

- des développements potentiels de la technique de réflectométrie temporelle (TDR),
- la prise en compte des phénomènes d'hydrophobicité dus aux constituants organiques du sol,
- l'étude du changement d'échelle en modélisation des transferts entre m^2 et bassin versant.

Des progrès importants sont également enregistrés d'une part dans la mise au point de dispositifs de mesure in situ pour l'observation dans l'espace et dans le temps des voies de flux préférentielles, d'autre part dans la prévision des flux polluants

vers les eaux souterraines et de surface, en prenant en compte la distribution spatiale des sols, les pratiques agricoles et les discontinuités créées par l'homme.

On remarquera cependant que beaucoup de communications concernent principalement les propriétés de transferts associées à des horizons et non l'ensemble du sol ou la séquence de sol (par exemple à l'échelle du versant).

Des progrès sont également à noter dans l'élaboration de bilans hydriques des sols cultivés, et de modèles de transfert dans les systèmes sol-plante-atmosphère, nécessitant une bonne connaissance des conditions de surface dont l'infiltrabilité.

Deux voies de recherche apparaissent très porteuses pour l'avenir :

- relier processus de transfert et description du système poral,
- étudier de nouvelles approches de modélisation reliant caractéristiques de la porosité et prévision des flux préférentiels.

Symposium 04 - Influence des minéraux argileux et des composés associés sur les propriétés physiques du sol

Les études récentes faites sur les sols montrent que leurs propriétés dépendent de l'association intime de particules très fines que sont les argiles, les matières organiques et les oxydes. Les associations argile-matière organique du sol jouent notamment un rôle fondamental sur la stabilité des sols dans un contexte spatial multi-échelles, de l'agrégat au bassin versant.

Toute modification dans la proportion de ces constituants et de leur arrangement est en mesure d'altérer les propriétés du sol : modification de la rétention des ions nécessaires aux plantes, modification de la rétention de l'eau par le sol, modification de l'aptitude à la compaction. L'agriculture intensive et les pratiques de l'homme urbain sont au centre de ces transformations qui mettent en péril les sols.

Ce symposium a mis en évidence l'importance de l'étude des mécanismes à la base des propriétés physiques, et essentiellement celles concernant les interactions entre les constituants finement divisés, l'eau et les solutés.

Diverses approches soit descriptives, soit de quantification concernant les microstructures ont été évoquées pour mieux appréhender les différents assemblages microscopiques.

Les résultats essentiels montrent combien est importante la connaissance simultanée de la nature et de l'origine des constituants, tant minéraux qu'organiques, pour la compréhension des propriétés physiques, le plus important apparaissant clairement être celles des constituants finement divisés.

Ce niveau d'analyse permet d'autre part de suivre la dynamique des constituants, et notamment les fixations de surface, particulièrement pour les aspects fertilisation et pollution.

Une mise en évidence de différents paramètres physico-chi-

miques et minéralogiques pertinents permet d'élaborer des

modèles conceptuels.

A l'avenir une connaissance accrue des interactions entre

phases solides et la solution du sol jouera un rôle déterminant

pour comprendre le comportement des sols.

Commission II

CHIMIE DU SOL

Symposium 05 - L'hétérogénéité des processus physico-chimiques dans les sols

La période des analyses sur matériaux déstructurés semble révolue, et des méthodes d'analyse très sensibles et séparatives sont maintenant utilisées pour caractériser les substances humiques et les espèces chimiques à l'état de traces. La réactivité de systèmes complexes proches du sol « réel » peut être étudiée, par exemple sur des revêtements. La prise en compte de la variabilité spatiale intervient : taille des particules, type de structure du sol.

On cerne de mieux en mieux la localisation des écoulements préférentiels et celle des transferts de solutés réactifs, permettant des modélisations.

Des méthodes mathématiques, physiques et chimiques avancées : géométrie fractale, spectroscopie, microscopie et ultramicroscopie sont utilisées pour la compréhension de l'hétérogénéité des sols qui n'est plus considérée comme un obstacle, mais comme un réel objet d'étude. Le sol est en fait considéré comme un ensemble de sites à étudier.

Le succès de ce symposium a montré que le thème est particulièrement mobilisateur, et à approfondir.

On constate maintenant que la science du sol sait mobiliser une technologie très pointue qui n'a rien à envier aux autres sciences.

Symposium 06 - Dynamique des composés minéraux, incluant des polluants, dans le système sol

La dynamique des éléments nutritifs et celle des métaux lourds ont été largement abordées, montrant la disponibilité de ces éléments ou leur distribution dans les différents horizons du sol. Il faut rappeler que les composés minéraux polluants sont l'une des préoccupations fortes de cette fin de siècle.

Les sujets discutés ont traité du devenir, de la mobilité, de la spéciation, de la dynamique, de l'extractabilité des métaux, des métalloïdes et des radionucléides dans les sols et leurs constituants.

Beaucoup d'interventions ont traité des éléments métalliques en traces : notamment leur spéciation et leur réactivité en fonction de variables environnementales comme pH, EH, température, temps de résidence, affinités chimiques ou stériques. On note des avancées importantes par l'utilisation des méthodes spectroscopiques.

Deux points essentiels semblent devoir motiver maintenant la communauté scientifique concernée :

- une réflexion sur les mécanismes réactionnels mis en jeu lors de l'utilisation des protocoles d'extractions chimiques sélectives,

- intégrer plus systématiquement la variable « potentiel d'oxydo-réduction » dans les études de mobilisation / immobilisation des éléments minéraux, mettant en évidence l'importance des phénomènes majeurs d'aérobiose / anaérobiose.

Symposium 07 - Dynamique des composés organiques, incluant des polluants, dans le système sol

Les résultats présentés mettent en évidence que la matière organique des sols est composée de tout un ensemble de compartiments ayant des origines, des caractéristiques et des temps de vie assez différents; la prise en compte des processus qui permettra de comprendre les relations entre la dynamique du carbone et le devenir des polluants dans les sols est fondamentale pour apprécier à l'avance la dynamique de ces composés dans l'écosystème sol.

Les thèmes évoqués ont essentiellement traité, d'une part de la dynamique du carbone, d'autre part des xénobiotiques.

- Pour le carbone : on peut maintenant tenter de modéliser la dynamique de la matière organique par utilisation simultanée des fractionnements chimique et physique et du traçage isotopique et biologique. On met en évidence notamment l'importance du mode d'utilisation des sols sur la quantité de matière organique stockée. Ceci devrait permettre de prédire les effets des changements climatiques globaux et de concevoir des systèmes de culture durables. Les techniques avancées, en étant complémentaires, permettent d'entrevoir dès à présent les relations entre le niveau moléculaire, la dynamique du carbone et le fonctionnement biologique du sol.

- Pour les xénobiotiques, il a été confirmé que leur devenir est très lié aux propriétés et au « turn-over » du carbone dans les sols. A plus grande échelle, il est démontré par modélisation que le lessivage des molécules phytosanitaires est modulée par la variabilité spatiale des stocks de matière organique des sols.

Symposium 08 - Géochimie des fluides (air et eau) dans le sol

L'étude des propriétés géochimiques de l'air et de l'eau du sol permet d'examiner en quoi elles affectent les processus des pertes gazeuses ou l'infiltration des solutés.

L'essentiel de ce symposium a traité de la dynamique des solutés dans les sols, notamment sur le passage en solution d'éléments contenus dans les minéraux primaires, et leur utili-

sation par les racines.

La « fougérite » par exemple participe au contrôle des teneurs en fer des solutions dans les sols hydromorphes.

En ce qui concerne l'environnement, sa dégradation peut se poursuivre longtemps après que la pollution proprement dite ait cessé, par libération de produits stockés dans les sols. La matière organique soluble peut d'autre part constituer un vecteur important des transferts. Le phosphore, que l'on croyait se déplacer uniquement en surface, peut migrer à l'intérieur des sols, pour peu qu'il soit présent en grande quantité en solution.

Commission III

BIOLOGIE DU SOL

Symposium 09 - Contrôle de l'activité microbienne et de la dynamique de la matière organique par les macro-organismes (racines, faune)

L'objectif de ce symposium a été d'élaborer un certain nombre de concepts permettant d'intégrer les processus physiques, chimiques et biologiques du sol dans des modèles de fonctionnement transdisciplinaires.

Le concept de « domaine fonctionnel » est central : il se définit comme une partie du sol influencée par un régulateur principal, biotique ou abiotique. Il se reconnaît dans un ensemble de structures générées par le régulateur, séparables physiquement de la matrice du sol, tels que des agrégats, des pores ou autres structures. Ce sont des sites où le fonctionnement du sol opère à des échelles de temps et d'espace particulières, et qui sont colonisés par des peuplements microbiens ou animaux spécifiques. On distingue ainsi la rhizosphère dominée par les racines, la termitosphère (termites) ou la driosphère (vers de terre), en fonction du régulateur dominant.

Ce concept est à l'évidence commun à l'écologie et à la science du sol, il est donc interdisciplinaire.

Cette approche a servi de base à des propositions de voies de recherche, dont une réflexion sur la nature de modèles de fonctionnement à élaborer.

Symposium 10 - Utilisation des communautés microbiennes en agriculture durable et en sylviculture

Les communautés microbiennes du sol et les processus biologiques jouent un rôle primordial dans la fertilité des sols et dans la « durabilité » des systèmes cultureux. Le développe-

ment d'une agriculture durable impose d'apprendre à « manipuler » les équilibres microbiens pour maintenir, voire restaurer la fertilité des sols et améliorer la productivité des cultures, dans le respect de l'environnement.

L'inoculation microbienne des sols, ou des plantes, vise à : - favoriser la croissance des plantes et/ou augmenter le rendement, - lutter contre des insectes, des maladies, des mauvaises herbes, - décontaminer des sols pollués.

Une connaissance accrue est intervenue dans l'utilisation des communautés microbiennes et des colonies de champignons mycorhiziens comme facteur d'amélioration de la croissance des plantes et de la solubilisation des fertilisants. Des pistes très prometteuses semblent par ailleurs se profiler pour la réhabilitation de certains sols difficiles à régénérer.

Le développement d'une agriculture durable ne saurait reposer que sur la bonne gestion des communautés microbiennes ou leur restauration par l'introduction massive de souches microbiennes sélectionnées. Il convient donc d'étudier l'effet des pratiques culturales et modes d'usage des sols sur les communautés microbiennes et leurs interactions.

Les outils de la biologie moléculaire récemment mis au point permettent de caractériser la structure des populations microbiennes et d'apprécier les changements qui affectent la biodiversité des sols.

Symposium 11 - Biodiversité et fonctionnement du sol

La biodiversité, déjà abordée dans d'autres symposiums, trouve ici l'expression des leçons les plus abouties sur le sujet, que ce soit dans les environnements extrêmes, les sols pollués, ou dans les sols forestiers, les sols cultivés ou les sols « naturels ».

Boîte noire jusqu'à ces derniers temps, elle peut maintenant être évaluée grâce aux techniques de la biologie moléculaire (techniques ADN). Ces nouvelles techniques permettent notamment d'accéder aux organismes dont on ne peut réaliser des cultures, comme certaines bactéries.

Le symposium a été consacré, en partie, à la description de la biodiversité. Le fait que les activités humaines la modifient a été largement rappelée.

Un autre question est posée : comment cette biodiversité affecte le fonctionnement du sol ; c'est l'objectif final de toute recherche concernant cette matière. Ce sujet de recherche est cependant dans son stade initial.

Il est évident que la disparition d'une espèce, ou l'introduction d'une nouvelle, dans les sites à faible biodiversité (régions très froides ou très chaudes et sèches), peut avoir des effets considérables, bien plus que dans des zones où celle-ci est élevée.

L'impression générale est que nous évoluons particulièrement vite sur ce thème, par l'intermédiaire des nouvelles

techniques, et les facteurs contrôlant la biodiversité sont progressivement révélés.

Il est important de progresser dans ces connaissances, car ce sont elles qui permettront de préserver la biodiversité, et plus généralement de mieux gérer notre environnement.

Commission IV

FERTILITÉ DU SOL ET NUTRITION DES PLANTES

Symposium 12 - Indicateurs utilisables dans le cadre de la restauration de la fertilité des sols

Ce symposium avait l'ambition d'aborder ce thème tant du point de vue bio-physique que socio-économique.

Il s'est dégagé un intérêt particulièrement fort pour tout ce qui concerne une approche organo-biologique de l'évaluation de la fertilité. En effet, si la fertilisation minérale, quelle que soit sa forme, apparaît toujours comme une nécessité pour les pays du Sud, où l'investissement dans les engrais est très faible, elle n'est pas toujours suffisante sur le long terme pour assurer la durabilité des systèmes de culture, si elle n'est pas associée à une gestion organique et biologique des sols.

Les aspects socio-économiques de la fertilité et des problèmes environnementaux ont été pris en compte à différents niveaux. Ont été mis en évidence d'une part l'importance de la perception de la fertilité par les agriculteurs, d'autre part l'intérêt et la nécessité des approches « participatives » en plaçant l'agriculteur en amont, au centre et en aval de la recherche. Des exemples de diffusion en milieu paysan ont été décrits, et les retombées positives en terme d'environnement apparaissent très fortement.

On retiendra de ce symposium que les problèmes de pertes de fertilité et de dégradation de l'environnement restent malheureusement toujours d'actualité dans de nombreux pays du Sud, mais les nouveautés de ces dernières années en termes de recherche sont les suivantes :

- le fort développement de recherches sur les interactions bio-organo-minérales dans les sols des régions chaudes en relation avec une gestion plus organo-biologique des sols ;
- l'émergence de nouvelles alternatives efficaces de restauration de la fertilité et de protection de l'environnement, qui sont testées en milieu paysan, et qui prennent beaucoup plus en compte que par le passé, à la fois les ressources naturelles locales, et une participation directe de l'agriculteur ;
- on assiste actuellement au développement de programmes de recherche qui intègrent réellement, au niveau

d'une même équipe, d'un même institut ou d'un même programme, des approches bio-physiques et socio-économiques de la fertilité.

Par contre, même si la communauté scientifique y est sensible, il reste une forte nécessité de développer des jeux d'« indicateurs » simples et robustes de la « qualité des terres » qui puissent être utilisés tant aux échelles locales que régionales pour aider aux prises de décisions techniques, économiques et politiques en matière d'alternatives pour une gestion durable des terres.

Symposium 13 - Biodisponibilité des éléments dans les sols, engrais et amendements organiques ou minéraux

La biodisponibilité des éléments du sol est une approche qui doit beaucoup à une vision environnementale des problèmes : la fertilisation est ainsi vue sous l'angle de la plante pour améliorer les pratiques des agriculteurs ou des forestiers.

La biodisponibilité du phosphore, du potassium et des micro-éléments pose toujours de nombreuses questions selon les types de sol, le climat et les cultures, et c'est particulièrement le cas des sols tropicaux.

Un certain nombre de réponses sur la dynamique et la cinétique de la fixation-désorption du phosphore et du potassium en lien avec les oxydes de fer ou d'aluminium ont été apportées.

Il s'agit d'une nouvelle approche de la gestion des ressources naturelles qui permet une fertilisation davantage équilibrée.

Symposium 14 - Ajustement de la fertilisation aux besoins des cultures annuelles et pérennes dans le cadre des agrosystèmes durables

Les très nombreuses présentations de ce symposium ont montré que le thème est très suivi par les scientifiques du monde entier : l'ajustement de la fertilisation aux besoins des cultures est l'une des clés des pratiques de l'agriculture mondiale d'aujourd'hui, et de sa durabilité.

La gestion des engrais minéraux ne correspond en fait qu'à une partie de la gestion des éléments minéraux au champ.

Il convient de prendre en compte toute la complexité de l'agrosystème : impact des cultures précédentes, interactions avec la gestion de l'eau, des maladies, des ravageurs. Il faut donc tenir compte à la fois des teneurs en éléments du sol mais également des besoins des cultures.

A également été évoquée dans ce cadre la technique de l'agriculture de précision, ainsi que son efficacité.

Commission V

GENÈSE, CLASSIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES SOLS

Symposium 15 - Processus et organisation dans la différenciation spatiale des sols et des volumes pédologiques

Ce symposium a permis d'avancer dans la connaissance des facteurs naturels et anthropiques de l'évolution des sols dans les pays du monde entier, sous divers climats, couverts végétaux, roches et contextes géomorphologiques.

Il a notamment mis en évidence la nécessité d'une intégration spatiale, et tout l'intérêt d'une représentation graphique par toposéquences, pour une transmission efficace d'une information complexe.

Les outils en sont d'une part les descriptions morphologiques, associées aux observations des organisations microscopiques, d'autre part l'étude coordonnée des différents processus, qui aboutit à une représentation mécanistique quantitative.

Les approches actuelles sont de deux types : - l'approche par analyse structurale (travaux français, brésiliens et australiens essentiellement); - l'approche par remplacement de profils verticaux dans un contexte paysagique, avec l'aide de taxonomies et une éventuelle modélisation informatique.

Il est apparu qu'il est absolument nécessaire d'intégrer systématiquement représentation 2D ou 3D et étude des fonctionnements hydrologiques et biogéochimiques. La modélisation et les changements d'échelle du local au régional peuvent alors être efficacement développés.

Symposium 16 - Archivage, dans les sols, des changements de leur environnement naturel et anthropique

La paléopédologie, ou la connaissance de l'histoire des sols, est essentielle pour comprendre les phénomènes anciens et tenter d'expliquer le présent à la lumière des bouleversements de l'environnement, d'origine naturelle ou anthropique. Les techniques de décryptage sont variées et la collaboration avec les archéologues est particulièrement fructueuse.

De nombreuses communications de nature très variée ont marqué ce symposium : - la cinétique des processus et possibilités de datation, - la recherche des « signatures » des événements passés dans les sols : traits macro- et micro-morphologiques, - l'utilisation du C_{13} et du N_{15} , pour les carbonates, le carbone et l'azote, - les bio-marqueurs, - la susceptibilité magnétique, - les analyses élémentaires, - les signes d'événements brutaux, - l'enregistrement du développement des sols durant la période holocène, - l'enregistrement des

changements climatiques durant le pléistocène, - l'impact des activités humaines anciennes et modernes sur les sols.

Symposium 17 - Progrès réalisés en cartographie des sols à l'aide d'outils modernes : méthodes et résultats

Les avancées en cartographie des sols, à l'aide de méthodes et d'outils modernes, sont très significatives depuis quatre ans : l'utilisation des Systèmes d'Information géographique (S.I.G.) et des Modèles Numériques de Terrain (M.N.T.), les prédictions des propriétés des sols par modèles mathématiques, l'utilisation simultanée de plusieurs missions photographiques aériennes ou satellitaires, la puissance de calcul et de traitement informatique, sont sans conteste des apports déterminants pour la compréhension de la distribution spatiale des sols.

Le pédologue de terrain voit donc ses outils classiques puissamment renforcés, notamment par la multiplication des capteurs géophysiques permettant de cartographier très finement des caractéristiques particulières du sol. Les apports de la télédétection et de l'imagerie spatiale sont fortement relayés par les capacités informatiques de traitement des bases de données de sols et des moyens de dessins automatisés. Les modèles numériques de terrain permettent une approche topographique qui est un facteur important de l'organisation spatiale des sols.

Trois grands thèmes ont été traités au cours de ce symposium : - l'acquisition de données spatialisées sur les sols : techniques d'échantillonnage, télédétection, techniques géophysiques non destructrices, - l'analyse spatiale et la modélisation : approches multivariées, utilisation des M.N.T., - l'élaboration de systèmes d'information et leur utilisation pour l'évaluation des terres.

L'information ainsi recueillie est bien plus complète que ce que les cartes pouvaient fournir.

Des méthodes de thématization dérivées de la « logique floue » sont proposées pour tenir compte de l'imprécision de l'information spatiale.

Les idées-forces sont en fait les suivantes :

- développer des capteurs complétant les outils classiques, provenant notamment de la géophysique,
- développer les approches de modélisation grâce notamment à l'utilisation des M.N.T.,
- prendre en compte l'incertitude pour l'utilisation des cartes en utilisant les notions de logique floue et d'intelligence artificielle,
- prendre en compte les niveaux de confiance et la fiabilité des données.

Symposium 18 - Rôle et contribution des processus biologiques dans le fonctionnement et l'évolution des systèmes de sols

Le rôle des processus biologiques sur le fonctionnement de l'évolution des systèmes pédologiques est une voie qui n'est pas assez travaillée et qui mérite une attention particulière tant ces processus sont complexes.

Ce Congrès a vu s'accroître la prise de conscience de la communauté scientifique sur l'importance de l'activité des organismes vivants dans la formation des sols et dans l'acquisition de leurs caractères et propriétés.

Les diverses communications ont débouché sur une discussion générale concernant les stratégies de fonctionnement des écosystèmes via les organismes ayant des implications pédogénétiques, les organismes du sol étant à la fois transformateurs et adaptateurs du milieu transformé.

Le point fort ressortant de cette discussion est l'efficacité de certains organismes (vers de terre, termites, fourmis, enchytréides...) sur le transfert de matière, sur la transformation de la matière organique et sur la stabilisation des produits organiques. La présence et l'activité de ces organismes sont liées aux conditions du milieu (climat, roche-mère, topographie) et de faibles variations de ces conditions (d'origine naturelle ou anthropique), situées autour de valeurs-seuils (notion relativement nouvelle), peuvent avoir de grandes conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes et la fertilité des sols.

Les méthodes pour mener à bien ces recherches sont variées : globales (bilans énergétiques), d'observation (microscopie), chimiques et biochimiques (marqueurs), de caractérisation fine (isotopie, spéciation enzymatique).

Commission VI

TECHNOLOGIE DES SOLS

Symposium 19 - Technologie des sols reconstitués

Une technologie nouvelle est apparue récemment, celle des « sols reconstitués », pour réhabiliter d'anciennes carrières ou des sites industriels abandonnés (mines), pour améliorer des sols de déblais par des apports de déchets organiques (boues d'épuration) et pour préparer des substrats utilisés en horticulture (mélanges à base de tourbes) ou en maraîchage sous serre.

Les sols artificiels comportent les sols reconstitués pour les arbres des villes, des espaces verts, des digues, des talus de routes. D'autres correspondent à la réhabilitation de carrières ainsi qu'à des constructions pour isolation et végétalisation.

On été présentés : - l'intérêt de composés pour lutter contre la compaction, - celui d'autres pour une stabilisation à long terme, - les caractéristiques de rétention en eau de tourbes plus ou moins décomposées.

Il est évident que de nouvelles méthodes sont à mettre au point pour étudier les sols artificiels, autres que les déterminations traditionnelles appliquées aux sols naturels. Elles concernent des propriétés macroscopiques comme les possibilités de transfert d'eau et de gaz. L'importance de la nature de la matière organique devrait être étudiée de plus près, ainsi que les possibilités diverses de mélanges.

Un système d'expertise a été présenté au cours du symposium, concernant la végétalisation des sites urbains.

Symposium 20 - Maîtrise des états et des comportements physiques des couches de sol travaillées : aspects environnementaux et agricoles

Les couches de sol travaillées sont un domaine d'études particulières très fouillées qu'il convient d'aborder sous les aspects agricoles et environnementaux. Ceci doit être basé sur l'étude des pratiques culturales, des risques d'érosion, des transferts à la surface du sol, des types de travail du sol en surface ou en profondeur.

Partant de la notion d'agriculture durable, et de la nécessité d'optimiser les pratiques agricoles favorisant à la fois la maîtrise de la production et le respect de l'environnement, ont été traités essentiellement les thèmes suivants :

- optimisation des techniques de gestion de l'état physique des couches de surface des sols cultivés,
- comment ces techniques influent sur l'implantation des cultures, la lutte contre l'érosion des terres, la lutte contre la pollution des eaux superficielles et souterraines.

Symposium 21 - Gestion durable des eaux usées et des boues en agriculture

Le système épurateur sol-plante, les capacités épuratrices de différents matériaux, les irrigations fertilisantes avec des eaux usées, l'impact des boues résiduaires et des composts de déchets organiques, sont autant de thèmes qui animent de nombreux débats scientifiques, écologiques et politiques.

L'opinion publique est souvent ballottée entre un excès de précautions et des pratiques laxistes qui sont aussi nuisibles les unes que les autres pour une approche sereine des problèmes qui se posent à nos civilisations.

Différents milieux ont été étudiés, ainsi que les effets de l'application de produits divers sur les terres agricoles : eaux

usées, boues résiduares, composts, déchets solides, rejets industriels solides et liquides. Ont été évoquées les teneurs en sels, en matière organique, en azote, phosphore, éléments traces...

Les méthodologies utilisées sont diverses : expérimentations en plein champ ou en pots, ainsi qu'au laboratoire : extractions chimiques pour l'étude des spéciations, étude des mécanismes d'absorption ou de rétrogradation. L'efficacité de certains matériaux pour la prévention des pollutions a été traitée : zéolithes, diatomites, poudres de charbon.

Ce thème est donc de plus en plus pris en compte dans les problèmes d'environnement.

Commission VII

MINÉRALOGIE DU SOL

Symposium 22 - Composition, structure et évolution dans les sols, des minéraux à organisation cristalline à courte distance

Deux sujets ont donc été essentiellement traités au cours de ce symposium : - la cristallographie des éléments traces, - le devenir des composés minéraux organisés à courte distance.

- En ce qui concerne tout d'abord les éléments traces, certains sont indispensables à la vie, d'autres sont particulièrement toxiques comme le plomb et le cadmium, même à très faible concentration. De nouvelles techniques sont progressivement mises au point pour pouvoir réaliser des déterminations pour des concentrations très faibles. Il convient notamment de pouvoir préciser à la fois la localisation et la spéciation des « métaux lourds » pour en apprécier la mobilité et la biodisponibilité.

Une des avancées les plus importantes ressortant de ce symposium est l'application de techniques spectroscopiques et microanalytiques développées sur rayonnement synchrotron.

- Les minéraux organisés à courte distance : allophanes, imogolite, ferrihydrites, se retrouvent dans certains types de sols comme les andosols et les spodosols. Leur grande surface spécifique, leur affinité particulière pour les phosphates et les éléments traces, leur association avec la matière organique leur confèrent un rôle très important dans ces sols. Les techniques spectroscopiques rendent leur étude plus facile qu'auparavant.

L'importance du fer, sous ses différentes formes, dans le comportement des sols hydromorphes a été confirmée.

Un effort important a également été réalisé dans le domaine du couplage entre données de minéralogie et de géochimie des solutions.

Symposium 23 - Cristallographie et localisation des éléments en trace dans les minéraux comme marqueurs de l'évolution des sols et de la mobilité des éléments dans l'environnement

Au plan cristallographique, la localisation et l'incorporation des éléments traces dans les fractions fines minérales des sols contaminés est d'une grande importance. Ces études ont été fréquemment menées à des échelles submicroscopiques. L'accent est mis sur l'utilisation des éléments traces comme marqueurs, sur leur biodisponibilité, et sur la réhabilitation des sols contaminés.

Ce symposium souligne l'important travail mené pour déterminer la mobilité et la biodisponibilité des métaux lourds dans les sols contaminés ou les sols naturellement riches, et pour préciser le rôle de la matière organique et des complexes organo-métalliques sur la formation d'oxydes métalliques néfastes.

Le thème le plus important traité ici est celui de la « spéciation des éléments traces ».

Des techniques nouvelles de détermination ont été présentées, basées essentiellement sur la microanalyse. Le synchrotron permet notamment, par l'utilisation de différents types de rayonnements X, de détecter des teneurs très faibles, fournissant des renseignements au niveau atomique ou moléculaire.

Le couplage entre microanalyse et microscopie électronique à transmission ou à balayage s'avère également très porteur pour des localisations au niveau des particules, qu'elles soient de constitution simple ou complexe : argiles, oxydes, matière organique.

Symposium 24 - Minéraux des sols et acidification

L'acidification des sols est l'un des processus naturels les plus fréquents au monde : l'influence des minéraux présents dans le sol et la roche-mère sont étudiés de manière fort intéressante en expliquant notamment les modifications de stabilité des minéraux des sols et le rôle de la nature des argiles dans le contrôle de l'acidité et de la mobilité de l'aluminium.

Le problème est ici celui du pouvoir tampon des sols, lié essentiellement au taux d'altération. L'évaluation de l'impact des apports atmosphériques acides sur les sols et les écosystèmes implique de calculer les « charges critiques ».

Certains pays ont élaboré des documents cartographiques à l'échelle européenne, peut être un peu rapidement, et trop globaux. La France, quant à elle, préfère travailler à l'échelle des bassins versants, même si la démarche de spatialisation est également en cours.

Quoi qu'il en soit, la Convention de Genève met l'accent sur la nécessité d'une réduction des émissions acides ou acidifiantes.

Commission VIII

SOLS ET ENVIRONNEMENT

Symposium 25 - Pollution des sols : diagnostic, méthodes d'évaluation et applications dans le domaine de la réglementation

Ce thème suggère combien le sol est un lieu stratégique pour contrôler la pollution de l'environnement : le sol, contrairement à l'air et à l'eau, est une ressource très lentement renouvelable et de ce fait particulièrement vulnérable.

Ce symposium a connu un très grand succès, le domaine de l'environnement et de la durabilité de l'agriculture représentant pour beaucoup l'essentiel des préoccupations actuelles.

Le sujet le plus étudié est celui concernant les éléments traces métalliques dans les sols. La nécessité de la prise en compte du fond géochimique naturel est devenu évident. Des réseaux de mesure permettent maintenant d'affirmer qu'en zone rurale près de 50 % des apports sont des apports atmosphériques diffus.

Une discussion importante est intervenue sur les problèmes de réglementation. Les avis sont relativement divergents entre les pays Européens et les Etats Unis notamment. La majorité d'entre eux s'accorde cependant pour qu'une législation intervienne, surtout pour ce qui traite des déchets et en particulier des boues de stations d'épuration.

En ce qui concerne sol et qualité de l'eau, c'est le bassin versant qui représente de manière évidente l'unité paysagique à prendre en compte. Les pays en voie de développement se préoccupent également de plus en plus de ce problème.

On note de plus la montée d'une réflexion au plan national et européen sur la surveillance de la qualité des sols et la mise en place d'observatoires, et certains d'entre eux étaient présentés dans les expositions.

Il faut cependant noter le faible nombre de travaux sur le devenir dans les sols des polluants organiques persistants.

Symposium 26 - Les sols et le changement climatique

La plupart des communications ont traité des relations entre l'utilisation des terres cultivées et les émissions des principaux gaz à effet de serre d'origine biologique : CO₂, N₂O et CH₄. Elles ont abordé les questions concernant la contribution des

sols à l'émission de ces gaz et à leur accumulation dans l'atmosphère, et les effets d'un réchauffement prévisible sur le fonctionnement des cycles géochimiques correspondants. Le rôle des plantes comme puits et sources de ces gaz dans les sols cultivés, les prairies, ou les forêts a été rappelé.

La moitié des présentations a été consacrée aux émissions de CO₂, le plus important des gaz à effet de serre ; plusieurs communications ont rappelé que les sols et la végétation peuvent souvent se comporter comme des puits pour le CO₂ atmosphérique, mais que l'intensification des pratiques agricoles (retournement de prairies, mise en culture de sols forestiers) conduit à d'importants déstockages de carbone. Inversement plusieurs présentations ont apporté des données chiffrées sur le restockage de carbone par les sols à la suite de remise en prairies ou en forêt ; des auteurs nord américains ont souligné les possibilités de restockage de carbone dans les sols cultivés, par l'intensification de la production de la biomasse végétale au cours des 50 dernières années, l'augmentation des quantités de résidus végétaux retournés au sol, et par la mise en place de techniques simplifiées de travail du sol.

D'autres communications ont souligné l'intérêt de la constitution de banques de données et de la mise au point de modèles de simulation fiables permettant des prévisions de l'évolution des stocks de carbone organique des sols.

Six communications sur les émissions de méthane ont rappelé que les émissions de ce gaz par les sols hydromorphes en climat tempéré humide peuvent être aussi importantes que celles en climat plus chaud, que ces émissions très importantes en sols de rizières peuvent être réduites de moitié par une gestion adaptée de la submersion, et que les sols aérés ont une capacité d'oxydation du méthane qui joue un rôle régulateur dans les émissions, capacité qui est altérée par les pratiques agricoles et notamment la fertilisation azotée.

Les communications sur les émissions de N₂O ont rappelé les avantages et les limites des principales méthodes de mesures actuellement utilisées (enceintes d'accumulation et micrométéorologie), ont apporté quelques données chiffrées sous différentes conditions culturales, soulignant l'importance des quantités d'engrais azotés apportés plutôt que de leur forme d'apport, et ont montré qu'une augmentation de 2 à 3 °C de la température de l'atmosphère pouvait altérer sensiblement la dynamique des émissions sans modifier les quantités émises sur une année.

Les questions concernant la quantification des flux de gaz vers l'atmosphère ont été abondamment discutées, soulignant la forte variabilité temporelle des émissions et les problèmes d'extrapolation spatiale qui sont les principales causes d'imprécision sur les différentes sources d'émission. Ceci indépendamment de la validation des résultats acquis.

Différentes approches pour résoudre ces problèmes ont été

évoquées :

- choix des méthodes de mesure en fonction des échelles d'observation : chambres de prélèvement (< 1 m), micrométéorologie (1 ha / 10 ha), ballons (km), avions (10 / 100 km), données satellitaires (> 100 km).
- modélisation des connaissances sur les processus,
- stratification des systèmes sols comme base de modélisation et comme choix de stratégies de mesure.

En ce qui concerne les options de réduction des émissions, la question principale est celle de l'évaluation de l'impact des mesures qui sont préconisées.

Symposium 27 - Stades précoces et réversibilité de la désertification des sols

La lutte contre la désertification concerne essentiellement les sols des régions chaudes, ou froides et sèches, et les conséquences des activités humaines sont souvent mises à l'index.

Face aux contraintes climatiques, démographiques, socio-économiques, il convient de déterminer des seuils, états ou stades, à ne pas dépasser, sous peine d'irréversibilité. La démarche doit bien entendu être pluridisciplinaire, ayant à gérer des paysages et non pas exclusivement des sols. L'importance des diagnostics précoces a été évoquée à de nombreuses reprises.

Des cas de réversibilité de la désertification des sols existent, ainsi que les méthodes d'études à différents stades, et la recherche d'indicateurs pertinents doit donc être poursuivie.

Les méthodes d'évaluation préconisées dans les programmes GLASOD et SOTER ont été mentionnées.

De nombreux exemples concrets ont été exposés et discutés : steppisation, défriche et acidification, travaux de réhabilitation.

Symposium 28 - Sols urbains et suburbains : nature, gestion et risques pour la santé humaine

L'intérêt récent pour l'étude des sols urbains comme écosystèmes fortement liés à l'activité humaine : modifications profondes, impact de l'industrialisation, marques de l'histoire des villes, accumulation de débris et de déchets organiques et inorganiques en périphérie des villes; les sols urbains ou suburbains posent des problèmes nouveaux auxquels la communauté scientifique commence à répondre.

Les sols urbains, sols de jardins ou sols d'espaces verts, sont particulièrement sensibles aux agressions de notre civilisation urbaine : on constate de plus en plus de concentrations

en éléments indésirables (pesticides, métaux lourds, hydrocarbures, polluants organiques) qui sont le résultats de pratiques excessives ou de conditions de milieu de proximité (usines par ex.). Ces sols doivent être particulièrement suivis pour limiter toute dérive nuisible à la santé humaine et une éducation devrait être engagée pour inciter le public concerné à avoir des pratiques plus écologiques et plus responsables.

Les thèmes traités ont concerné plusieurs points : - les sols des grandes agglomérations des pays industrialisés et leurs contraintes vis à vis de la végétation, - la qualité des sols de jardins et les risques pour la santé humaine, - les sols industriels, - la gestion des déchets dans les grandes communautés urbaines des pays en voie de développement.

Il en ressort que les sols urbains présentent une grande diversité et sont très hétérogènes. Marqués par une forte compaction, ils sont caractérisés par la présence de substances polluantes à des concentrations élevées. L'échantillonnage est un enjeu important pour l'étude des sols urbains.

Les sols dans la ville constituent un carrefour de nombreuses disciplines, et les scientifiques de science du sol qui s'en préoccupent doivent nécessairement travailler avec d'autres spécialistes : historiens, archéologues, économistes, sociologues, ingénieurs, médecins, juristes...

L'intérêt pour les sols urbains et suburbains ira certainement en s'accroissant dans le futur, et il y a là un nouveau défi pour les spécialistes de science du sol.

Sous Commission A

SOLS SALINS

Symposium 29 - Durabilité des systèmes irrigués vis-à-vis de la salinisation : réhabilitation des sols affectés par des sels

Avec le développement considérable de l'irrigation à travers le monde, les effets de la salinisation, de la sodisation et de l'alcalinisation sur les sols sont devenus un problème majeur non seulement pour le développement de la production agricole, mais aussi pour la protection de l'environnement. La gamme des conséquences défavorables sur le milieu, ainsi que la gamme des moyens techniques pour lutter contre les causes de ces dégradations, se sont élargies depuis quelques années.

L'utilisation de techniques spécifiques s'est développée. On citera en particulier la télédétection, les systèmes d'information géographique, les méthodes de modélisation et de simulation. Ces techniques jouent désormais un grand rôle dans l'élaboration des projets d'irrigation et de drainage des milieux présentant des risques de salinisation.

Les présentations orales et les posters ont donné de nombreux exemples de la mise en oeuvre de ces méthodes et techniques.

Sous Commission B

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS

Symposium 30 - Contribution de la micromorphologie à l'étude du comportement temporel de la structuration des sols et des systèmes sol-eau

La contribution de la micromorphologie des sols est significative pour faciliter l'explication de la dynamique des comportements de l'eau dans les sols. Une grande partie des contributions de ce symposium a traité de ce thème majeur. Il est clairement illustré que le comportement temporel et spatial de la structure du sol et de l'eau sont intimement liés. L'importance de combiner mesures physiques et observations microscopiques a d'autre part été bien mise en évidence.

L'utilisation des approches microscopiques pour la reconstitution des paléoenvironnements a par ailleurs été rappelée. D'autres travaux ont traité de la genèse et de l'influence des traits pédologiques tels les revêtements argileux sur le comportement hydrique des sols.

Les travaux concernant les interactions eau / structure à l'interface sol - racine sont à développer.

Sous Commission C

CONSERVATION DES SOLS ET DES EAUX

Symposium 31 - Prise en compte de l'ensemble des dimensions de la couverture pédologique dans la caractérisation et la modélisation de l'érosion

Ce symposium avait pour objet de faire le point sur la prise en compte de la variabilité des sols (et des volumes pédologiques) comme facteur essentiel dans l'érosion hydrique et éolienne. En effet, la connaissance de la distribution spatiale de la couverture pédologique est utilisée le plus souvent de manière très limitée dans la prévision des risques d'érosion, la modélisation et la définition de méthodes de conservation appropriées aux contextes particuliers.

Par leur diversité, les contributions ont largement élargi le thème du symposium. Les communications orales ont porté sur l'impact des variations de propriétés du sol sur les processus et les taux d'érosion, la modélisation des interactions entre propriétés des sols et érosion, l'impact des structures végétales sur la redistribution de l'eau et la dégradation structurale du sol, les relations entre comportement physique et hydrique des sols et érosion le long d'une toposéquence, l'influence des conditions de surface et des conditions hydro-

logiques sur l'érosion, les effets des pratiques culturales sur la localisation des rigoles, les effets des conditions de surface et de la position relative le long du versant sur les processus de ruissellement et d'érosion.

Les posters ont d'autre part pu être regroupés en six grands thèmes : (i) les effets sur les terres cultivées et les effets aval, notamment la pollution par les pesticides, (ii) la prévision et la cartographie de l'érosion à différentes échelles spatiales, basée notamment sur des indicateurs expérimentaux, (iii) le contrôle de l'érosion, (iv) l'impact des conditions et des changements socio-économiques, politiques et culturels, (v) les facteurs de l'érosion, avec une référence particulière aux effets de la structure du couvert végétal et du microrelief (rugosité), et (vi) la modélisation.

L'origine des contributions a assuré une large variété de conditions pédologiques, climatiques, socio-économiques, culturelles et politiques.

On notera cependant que les travaux du symposium n'ont pas permis de combler le fossé entre le développement nécessaire de méthodes de conservation et un ancrage fort de celles-ci sur la progression des connaissances fondamentales, qui ne peut se limiter au domaine strict de la science du sol mais devrait s'appuyer davantage sur des approches multidisciplinaires.

Sous Commission D

ZOOLOGIE DU SOL

Symposium 32 - Activités anthropiques et faunes du sol : du milieu naturel à la restauration des systèmes dégradés

Les activités anthropiques (agriculture, exploitation forestière) influent, parfois grandement, sur des populations de la faune du sol, principalement dans les sols fragiles des zones non tempérées.

Ce symposium a mis en évidence le rôle important des invertébrés dans les systèmes pédologiques, que ce soit dans leur genèse, leur fonctionnement, leur conservation et leur restauration.

L'impact pédologique a été traité au travers de l'activité fondamentale des vers de terre et des termites : construction d'agrégats stables, modifications physiques et hydriques liés aux anciens nids. Ces espèces représentent un facteur fondamental pour les sols tropicaux.

L'impact des activités anthropiques a été largement évoqué, notamment en ce qui concerne le chaulage.

De nouvelles tendances en biologie des sols sont : - recherches sur le rôle fonctionnel de la faune du sol, - prise en compte de l'hétérogénéité spatiale, notamment par l'utili-

sation d'approches géostatistiques, - évaluation des changements dans la biodiversité, à plus ou moins long terme, par la mise en place de sites de références constituants des « observatoires ».

Sous Commission E

SOLS FORESTIERS

Symposium 33 - Gestion durable de la fertilité des sols forestiers et indicateurs des évolutions

Les sols forestiers sont étudiés pour eux-mêmes tant il y a à dire sur leurs caractéristiques, leur fertilité, leur durabilité, leur érosion ou les effets des plantations. La productivité de ces écosystèmes est spécifique, tout comme les évaluations de la pérennité de la fertilité naturelle de ces sols.

Le principe d'une utilisation pérenne des ressources forestières a longtemps été attaché à ses aspects quantitatifs (surface, croissance, production). Plus récemment l'accent a été mis sur les fonctions écologiques, un sol n'étant pas uniquement un support de croissance des arbres, mais aussi constitué d'êtres vivants qui contrôlent les échanges de matière et d'énergie à l'interface entre forêt, hydrosphère et atmosphère.

Ainsi, aux classiques expériences de fertilisation et de préparation du sol sur la croissance d'un peuplement forestier se sont substitués des travaux étudiant l'influence des pratiques sylvicoles sur l'évolution des propriétés des sols (compaction, rétention en eau, acidification...). En particulier, on mesure mal actuellement l'influence du raccourcissement des rotations, et donc la fréquence des exportations et des coupes, sur la durabilité de la fertilité.

De même, l'étude des cycles (éléments minéraux, matière organique) est un passage obligé pour réaliser des bilans et établir un diagnostic sur la gestion pérenne des ressources forestières.

La gestion durable des écosystèmes est un enjeu socio-économique majeur : il apparaît nécessaire de pouvoir disposer d'une typologie des situations et de leur dynamique. L'identification d'indicateurs précoces apparaît comme une priorité.

Symposium 34 - Modifications du cycle du carbone dans les sols forestiers suite aux changements de pratiques

Le symposium s'est attaché à la mise en évidence des transformations importantes et rapides du carbone des sols en fonction des changements d'usage. La conversion des forêts en pâtures ou en cultures, ainsi que leur retour au boisement à terme, bouleversent par exemple complètement les équilibres des sols en zones tropicales ou équatoriales. En milieu tempéré, l'afforestation des terres agricoles est également susceptible de modifier les stocks et les flux de carbone.

Depuis que la contribution des forêts au cycle global du carbone a pu être comprise, une plus grande attention s'est donc portée sur les effets des changements apportés par l'homme sur les forêts et leurs sols.

Les discussions ont porté notamment sur l'utilisation d'indicateurs précoces de changement de la qualité des composés organiques, comme par exemple les mesures d'activité microbienne.

Au plan quantitatif, il est nécessaire de se doter d'outils permettant de réaliser des bilans de carbone dans différentes situations. L'importance de la mise en place de sites de longue durée a été soulignée à plusieurs reprises.

Les deux symposiums forestiers montrent à l'évidence la nécessité de posséder des outils et des méthodes permettant d'effectuer le lien entre les études de sites ponctuels et la spatialisation aux échelles régionales, nationales et continentales.

Sous Commission F

ÉVALUATION DES TERRES

Symposium 35 - Applicabilité des méthodes recommandées pour l'évaluation des terres

Un certain nombre de points importants ont été soulevés au cours de ce symposium.

Les utilisateurs des sols demandent essentiellement des informations locales qui les préoccupent directement. Il est constaté que les scientifiques sont plus souvent mêlés aux discussions pour des décisions à prendre que réellement impliqués dans les décisions elle mêmes.

Très peu d'études prennent en compte les problèmes de biophysique, de techniques, d'économie, de sociologie.

Des outils sont cependant maintenant disponibles, notamment la télédétection pour identifier et classer les sols, l'automatisation des mesures de terrain, et les Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.), qui devraient gommer les différences d'échelle. L'utilisation des bases de données et de

l'outil informatique sont les principaux axes de travail pour recueillir et stocker les données, ainsi que pour mesurer l'impact des activités humaines sur l'environnement.

L'importance de la validation des modèles est soulignée.

Il conviendrait d'autre part de transformer le plus souvent possible les informations statiques en informations 3D temporelles.

Symposium 36 - Quelles évaluations des terres pour quels utilisateurs ?

S'il y a intérêt à évaluer les potentialités des terres pour limiter les pratiques incontrôlées, c'est que certaines erreurs ont été commises et qu'il y a un enjeu fort pour les pays à fort développement de populations.

Les travaux sur l'aménagement raisonné du territoire doivent inclure une évaluation des impacts économiques et écologiques de ces actions.

Ont été mis en évidence l'intérêt de bases de données informatisées, et celui de systèmes experts associés, pour gérer au mieux diverses contraintes, sous réserve d'être capables de mettre à disposition des gestionnaires et utilisateurs des outils simples et performants.

Le dialogue avec les utilisateurs doit être développé et adapté si on veut éviter les erreurs et envisager une utilisation plus rationnelle et efficace des études réalisées.

Sous Commission G

RÉHABILITATION DES SOLS

Symposium 37 - Réhabilitation des sols : critères d'appréciation et indicateurs de la qualité des sols

Ce symposium a traité essentiellement de la validité d'indicateurs chimiques, biologiques et physiques en tant que critères d'évaluation des risques et d'appréciation de la réhabilitation des sols pollués, soit par des produits organiques, soit par des éléments traces métalliques.

L'intérêt de conjuguer des méthodes physico-chimiques et biologiques pour définir la qualité des sols a été souligné, et l'importance de la prise en compte de nombreux indicateurs biologiques a été mise en évidence : micro-organismes et activités microbiennes pour la plupart, mais également nature du couvert végétal, faune des macro-invertébrés...

Indépendamment de ces sujets, la réhabilitation des sols miniers et l'appréciation de la qualité des sols naturels et de leur dégradation suite à des changements d'occupation ont été

également évoqués.

L'évaluation des niveaux de pollution ou des niveaux de réhabilitation se pratique actuellement sans définition de seuils, alors que la demande en protection de l'environnement l'exigerait.

Beaucoup de travail reste à faire : - dans la recherche d'indicateurs fiables, - sur l'étude de la variabilité temporelle et la reproductibilité des mesures d'indicateurs biologiques, - dans la définition de seuils interprétables en termes de niveaux de contamination et décontamination, - sur l'étude de la réversibilité des indicateurs, peut-on retourner à la diversité initiale?

le choix de traiter ou ne pas traiter en fonction des risques.

Symposium 38 - Évaluation et faisabilité de procédés biologiques, chimiques et physiques appliqués à la réhabilitation des sols

La pollution du sol d'origine métallique et organique, ainsi que les traitements chimiques, physico-chimiques, biologiques et biochimiques sont au cœur des principales contributions, tandis que d'autres couvrent un domaine plus vaste sur les diverses approches et méthodes de traitement.

Plusieurs communications de ce symposium ont traité des grands types de contamination et de dégradation sur de nombreux types de sols et de milieux plus ou moins anthropisés de différentes régions climatiques.

Ont été abondamment évoquées les possibilités de traitement des pollutions inorganiques (métaux et non-métaux) par phytoremédiation. Cette approche apparaît comme une voie particulièrement prometteuse pour l'avenir, dans le cadre de la biotechnologie de l'environnement. Divers types de matériaux ont été cités pour stabiliser et immobiliser ces pollutions inorganiques : argiles, zéolithes, matières organiques. Méthodes chimiques et électrochimiques ont également fait l'objet d'une attention.

Les contaminations organiques ont été moins abordées, faisant appel à des traitements de biodégradation microbienne, ou encore physique ou thermique.

La dégradation physique, essentiellement par érosion, a été largement évoquée pour les sols tropicaux et méditerranéens, associée à des propositions permettant un équilibre entre production et qualité de l'environnement. De même pour les sols sur roches volcaniques d'Amérique latine.

D'autres thèmes ont également fait l'objet d'échanges : acidification, effet des feux de forêt, utilisation des zones humides, et certains aspects socio-économiques ont été abordés.

Les débats et perspectives ont porté sur : - la connaissance du comportement des contaminants et polluants, - la définition de critères de qualité des sols, des dangers et des risques, - sur la faisabilité et le choix de traitements, mais également sur

Groupe de Travail CR

CRYOSOLS

Symposium 39 - Les cryosols : leur évolution en fonction des changements globaux

Les sols des zones froides, montagnardes, arctiques ou antarctiques sont tout à fait typiques, et en cela méritent une attention particulière. Notre civilisation devrait être plus attentive au devenir de ces terres gelées qui contribuent à l'équilibre global de notre planète.

La couverture pédologique des zones à cryosols est particulière : le gel prolongé génère le pergélisol. La « cryosphère » est la sphère qui devrait être la plus sensible aux changements climatiques.

Plusieurs contributions ont traité de la dynamique du carbone dans certaines parties de ces régions, et une base de données « circumpolaire » est en cours d'élaboration.

Le réchauffement général observé ne semble cependant pas avoir affecté la température estivale des cryosols du nord de l'Eurasie. On y enregistre plutôt un refroidissement modeste.

La question reste donc posée, les avis divergeant essentiellement entre nos collègues nord américains d'une part, et les spécialistes nord européens et russes d'autre part.

Un problème est de toute façon posé : l'augmentation de la population n'aboutira-t-elle pas à la nécessité d'utiliser les zones pergélisolées ? Il conviendrait alors d'intensifier les recherches concernant ces sols caractéristiques.

Groupe de Travail FA

ENGRAIS ET AMENDEMENTS ORGANIQUES

Symposium 40 - Critères d'efficacité et d'innocuité pour les amendements minéraux et organiques

Des travaux importants à mener concernent la recherche de critères d'efficacité et d'innocuité pour les amendements organiques et minéraux. Il convient de se pencher sur l'évaluation des risques écotoxicologiques liés aux épandages de déchets, l'emploi d'engrais « alternatifs », la réponse des génotypes de végétaux aux différents apports, les effets de lessivats d'ordures sur les cultures, les effets de différents composts sur les sols.

Des réponses très intéressantes ont été apportées ponctuellement aux questions qui lient la santé humaine et les apports de déchets de toutes sortes sur les sols.

De nombreux cas précis ont été évoqués et discutés, concernant notamment l'utilisation de composts, de vinasses,

de boues d'épuration, dans différentes conditions géographiques et socio-économiques.

Ce qui a été évoqué également est la nécessité de décisions législatives et politiques, sur la base de faits scientifiques bien démontrés.

Groupe de Travail MO

INTERACTIONS ENTRE LES ELEMENTS MINERAUX DES SOLS, LES COMPOSES ORGANIQUES ET LES MICRO-ORGANISMES

Symposium 41 - Interactions constituants minéraux - constituants organiques du sol sur le cycle et la biodisponibilité des éléments

Ces interactions sont essentielles à étudier pour comprendre les facteurs limitant la croissance des végétaux, la décomposition de matière organique, la fragmentation des agrégats du sol et la dynamique des nutriments, notamment l'azote du sol.

Trois thèmes ont été abordés au cours de ce symposium.

- Le premier concerne les conséquences de l'adsorption des enzymes sur les minéraux du sol, leur mobilité et activité.

- Le deuxième a traité des interactions entre micro-organismes et minéraux des sols : rôle de bactéries ferri-réductrices, de bactéries solubilisant les phosphates, importance des champignons mycorhiziens ; ceci sur les oxydes de fer, le phosphore, les métaux lourds.

- Le troisième a concerné les interactions entre les micro-organismes et la matière organique du sol, et notamment sa décomposition. On note une large utilisation de composés organiques marqués au ^{14}C ou au ^{13}C permettant une localisation précise des sites concernés. De même, l'utilisation de la microscopie électronique permet maintenant une avancée évidente de nos connaissances.

On peut conclure en affirmant que les interactions entre les constituants du sol et les micro-organismes influencent la transformation métabolique des composés organiques naturels et le devenir des métaux.

De nombreux mécanismes sont à étudier en ce domaine et les perspectives de recherches nombreuses, notamment en ce qui concerne les adsorptions, les décompositions et les solubilisations / insolubilisations des divers constituants et composés.

Groupe de Travail RB

REFERENTIEL MONDIAL POUR LES RESSOURCES EN SOLS

Symposium 42 - La standardisation internationale des données pédologiques et leur traitement

Ce symposium a été largement consacré à la présentation et à une discussion générale concernant le « World Reference Base for Soil Resources » (WRB). Après une présentation de son intérêt et de sa structure, ont été évoquées les possibilités d'y intégrer différentes classifications régionales ou nationales : argentine, allemande, française, autrichienne, américaine, australienne.

A également été discuté l'intérêt d'un compromis tel que le WRB entre les systèmes hiérarchiques traditionnels et l'approche par ensembles flous (« fuzzy approach ») pour la prise en compte de la variabilité spatiale des sols.

Le remarquable outil de travail constitué par le WRB est destiné à unifier les efforts de tous les spécialistes des sols du monde et à faciliter la communication entre eux. Ce document est écrit de manière à être accessible à un public le plus large possible, notamment les enseignants en sciences naturelles des collèges et des lycées.

La possibilité de gérer les données de l'échelle locale à l'échelle mondiale, avec des logiciels de bases de données en progrès constant, renouvelle l'approche des spécialistes de la cartographie des sols. Mais cela suppose des efforts de standardisation de l'information nécessaires à l'échange de données, et de normalisation indispensable à la définition de la qualité des sols.

Une motion a été préparée pour inciter l'ensemble des membres de l'AISS à utiliser ce référentiel international.

Groupe de Travail RZ

RHIZOSPHERE

Symposium 43 - Structure et fonction de la rhizosphère : les mécanismes à l'interface sol-racine

Le volume de sol influencé par les racines ne peut être abordé que si l'on a une bonne connaissance du fonctionnement du continuum sol- plante pour prédire et gérer l'absorption de la solution du sol par les plantes, ou contrôler la contamination de la chaîne alimentaire par les micro-polluants entrés dans la plante.

L'objectif premier du symposium était de mettre l'accent sur les innovations méthodologiques récentes permettant l'étude des processus physiques et chimiques dont la rhizosphère est le siège.

- En ce qui concerne la chimie tout d'abord, les variations de pH et de concentrations ioniques peuvent être maintenant quantifiées par des techniques nouvelles telles la micropotentiométrie et la vidéodensitométrie d'indicateur coloré, permettant notamment l'accès à la mesure des flux de protons libérés dans la rhizosphère. La mise au point de micro-bougies poreuses permet le prélèvement in situ de micro-échantillons qui sont ensuite analysés par électrophorèse capillaire. Ces déterminations fines débouchent sur une augmentation de nos connaissances concernant la biodisponibilité d'éléments nutritifs, comme le phosphore, ou indésirables, tels l'aluminium, les éléments traces ou les radionucléides.

- En ce qui concerne les propriétés physiques de l'environnement immédiat des racines, d'autres techniques nouvelles, telle la tomographie de rayons X ou certaines approches bio-mécaniques semblent très porteuses. Des données de ce type seront importantes à prendre en compte pour l'évaluation des transferts de matière et d'énergie à l'interface sol-racine.

Les techniques innovantes citées permettent des progrès considérables dans la connaissance des interactions physiques et chimiques au niveau de la rhizosphère et par conséquent celles qui doivent permettre une gestion durable des productions agricoles et la prévention des risques environnementaux.

Comité Permanent CES

ÉDUCATION EN SCIENCE DU SOL

Symposium 44 - Comment mieux faire connaître le sol, la science du sol et ses applications

La nécessité d'une éducation globale pour faire connaître le sol et son importance dans la vie quotidienne des peuples est fonda-

16^e Congrès Mondial de Science du Sol

LISTE DES PAYS REPRÉSENTÉS

Pays Nombre de congressistes

Afrique du Sud	8	Etats-Unis	159	Papouasie Nouvelle Guinée	1
Albanie	3	Finlande	9	Paraguay	8
Algérie	3	France	674	Pays-Bas	64
Allemagne	125	Georgie	3	Pérou	1
Arabie Saoudite	2	Ghana	2	Philippines	13
Argentine	32	Grèce	13	Pologne	33
Arménie	2	Guatemala	1	Portugal	26
Australie	95	Hong-Kong	1	République du Congo	1
Autriche	21	Hongrie	20	République Tchèque	22
Azerbaïdjan	7	Inde	28	Roumanie	14
Bangladesh	8	Indonésie	2	Royaume-Uni	95
Belgique	46	Iran	4	Russie	51
Biélorussie	1	Irlande	12	Sénégal	16
Bolivie	1	Israël	4	Singapour	1
Bosnie Herzégovine	1	Italie	69	Slovaquie	7
Brésil	143	Jamaïque	1	Slovénie	6
Bulgarie	8	Japon	65	Sri Lanka	1
Burkina Faso	7	Kazakhstan	1	Suède	16
Cambodge	2	Kenya	3	Suisse	58
Cameroun	3	Koweït	3	Syrie	3
Canada	40	Lettonie	1	Taiwan	3
Chili	14	Liban	1	Thaïlande	63
Chine	22	Lituanie	3	Togo	2
Colombie	20	Madagascar	1	Tunisie	5
Corée du Sud	2	Malaisie	4	Turquie	5
Costa Rica	2	Mali	1	Ukraine	4
Côte d'Ivoire	3	Maroc	3	Uruguay	3
Croatie	12	Mexique	36	Vénézuéla	23
Cuba	2	Moldavie	2	Viet Nam	3
Danemark	29	Niger	1	Yougoslavie	6
Égypte	8	Norvège	11	Zimbabwe	1
Équateur	3	Nouvelle Zélande	26		
Espagne	106	Ouzbékistan	2		
Estonie	2	Panama	1		

Nombre de pays 101

Nombre de congressistes 2 505

PUBLICATIONS ET DOCUMENTS PUBLIÉS PAR L'AFES

REVUES

SCIENCE DU SOL

Revue scientifique publiée de 1952 à 1993.

Elle comporte 300 à 400 pages par an. Un index est présenté tous les ans dans le quatrième numéro.

A cessé de paraître fin 1993. Certains numéros disponibles.

LA LETTRE DE L'ASSOCIATION

Publiée quatre fois par an, ce journal annonce les nouvelles de l'association, les réunions nationales et internationales; il donne des critiques d'ouvrages, de thèses, de la documentation, etc.

La Lettre est envoyée à chaque adhérent de l'association : elle accompagne l'adhésion.

Rédacteur en chef : J.P. Rossignol, ENITH, Angers.

ÉTUDE ET GESTION DES SOLS

Revue trimestrielle, francophone traitant de la connaissance et de l'usage des sols.

Rédacteur en chef : M. Jamagne.

Secrétariat de rédaction : Micheline Eimberck et J.P. Rossignol.

Le Comité Éditorial est composé de trente membres de France et de pays francophones.

OUVRAGES

LE LIVRE JUBILAIRE (1984)

Point sur les acquis à cette date en matière de science du sol et de pédologie.

FONCTIONNEMENT HYDRIQUE ET COMPORTEMENT DU SOL (1984)

PODZOLS ET PODZOLISATION

par D. Righi et A. Chauvel : ouvrage publié en coédition par l'AFES et l'INRA, avec le concours du CNRS, de l'ORSTOM, et de la région Poitou-Charentes (1987).

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS/SOIL MICROMORPHOLOGY

par N. Fédoroff, L.M. Bresson, Marie Agnès Courty, publié par l'AFES avec le concours du CNRS, de l'INAPG, de l'INRA, du Ministère de l'Environnement et de l'ORSTOM (1985).

CARTE MONDIALE DES SOLS ET SA LÉGENDE Présentée sous forme de deux diapositives (1984).

LE RÉFÉRENTIEL PÉDOLOGIQUE

Principaux sols d'Europe, deuxième édition 1995. Ouvrage collectif publié par l'AFES et l'INRA.

SYNTHÈSE NATIONALE DES ANALYSES DE TERRE : PÉRIODE 1990-1994

par C. Walter, C. Schvartz, B. Claudot, P. Arousseau et T. Bouedo, avec le concours du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

