

LES APPORTS DE LA CONNAISSANCE DES SOLS INTERTROPICAUX AU DEVELOPPEMENT DE LA PEDOLOGIE: LA CONTRIBUTION DES PEDOLOGUES FRANCAIS

A. Ruellan, Paris

Depuis maintenant près de 40 ans, des équipes de recherches françaises, principalement de l'ORSTOM mais aussi d'autres institutions tel l'IRAT, étudient les sols, et leur mise en valeur, des régions intertropicales. Plusieurs groupes, du CNRS, de l'INRA, de diverses Universités, ont apporté leur appui à ces équipes qui ont principalement travaillé en Afrique et en Amérique Latine, mais aussi dans quelques pays d'Asie et du Pacifique.

Ces études concernent maintenant plus de 10 millions de km². Mais plus encore que les surfaces couvertes, ce qu'il faut surtout souligner c'est que ces études ont été menées, sur le terrain, à des échelles très variées, depuis le 1/500 000ème jusqu'à des échelles très fines (1/1 000ème par exemple) et qu'elles ont été, progressivement, de plus en plus souvent accompagnées d'observations et de mesures détaillées concernant: les constituants, les organisations microscopiques, les propriétés physico-chimiques, les régimes hydriques etc. ... De plus, beaucoup de ces études ont été menées en relations étroites avec des géologues, des géochimistes, des géomorphologues, des hydrologues, des écologistes, des agronomes ..., mais aussi avec des économistes, des sociologues, des ethnologues, ... toutes ces collaborations ayant permis de mieux cerner les relations qui existent entre les couvertures pédologiques et leur environnement physique, biologique, humain.

Tout au cours de ces 40 années de travail à travers le monde, les quelques centaines de pédologues français intertropicaux ont eu bien sûr à s'interroger en permanence sur les démarches et sur les méthodes:

- pour l'étude des sols,
- pour l'application de ces études,
- pour le transfert, d'une région à l'autre, des connaissances acquises.

Ils ont ainsi participé à tous les grands débats internationaux concernant:

- les méthodes d'observations, de mesure, de représentation cartographique, des sols et de leurs caractères;

- les classifications pédologiques;
- les démarches pour les cartes thématiques;
- etc. ...

Aujourd'hui, il est important de faire le point: 40 années de pédologie intertropicale nous ont beaucoup appris, ont beaucoup fait évoluer nos concepts, notre vision du sol, nos méthodes d'approche et de raisonnement. En quoi tout ceci a-t-il irrigué la pédologie? En quoi les spécificités du monde tropical, les voies méthodologiques que ces spécificités nous ont amenés à découvrir et à suivre, modifient-elles la compréhension que l'on peut avoir aujourd'hui du sol, de son évolution, des voies à privilégier pour son étude et pour son utilisation? Sans vouloir être exhaustif, c'est cette évaluation que je propose de faire ici, à grands traits.

Mais d'abord, que sont les spécificités du monde intertropical, en tous les cas celui ou les pédologues français ont principalement travaillé.

1. LES SPECIFICITES DES REGIONS INTERTROPICALES

Le monde intertropical est, en effet, spécifique: il l'est bien sûr par ses climats actuels; il l'est par ses couverts végétaux, par la morphologie de ses reliefs, par les sociétés humaines qui

y vivent; il l'est par son histoire, géologique, climatique, anthropique.

Toutes ces spécificités sont, évidemment, étroitement liées entre elles, et elles ont, chacune, concouru à l'originalité des couvertures pédologiques de ces régions: il n'y a pas, on peut l'affirmer aujourd'hui, de mécanismes pédologiques spécifiques au monde intertropical; mais il y a eu, et il y a toujours, conjonction de facteurs qui, sur de très grandes surfaces, ont conduit à la mise en place de grands ensembles pédologiques originaux.

Dans les régions où les pédologues français ont le plus travaillé, c'est-à-dire en Afrique de l'Ouest, en Afrique Centrale, en Amérique du Sud Centrale et Orientale, ces facteurs sont essentiellement:

la stabilité tectonique;

une certaine stabilité climatique, le balancement géologique des climats ayant été circonscrit à l'intérieur de l'intertropical;

l'intensité des mécanismes d'altération et de transferts.

Stabilité, intensité, durée: trois conditions dont la simultanéité est originale par rapport à d'autres régions du monde, ces trois conditions ayant permis aux processus pédologiques, et à ceux qui en découlent, de s'exprimer longuement: les vastes paysages pédologiques, où les quatre dimensions, spatiales et historique, sont clairement inscrites à toutes les échelles, en sont l'expression que les pédologues ont progressivement découverte au cours de ces 40 dernières années.

Le monde intertropical est donc spécifique, les ensembles pédologiques intertropicaux sont originaux, et, on le sait maintenant sur la base d'expériences trop souvent malheureuses, le comportement de ces ensembles pédologiques lors de leur utilisation est spécifique. Mais aussi, et ceci est très important, il faut encore rappeler que les conditions de travail du pédologue, en Afrique, en Amérique Latine, en Indonésie et ailleurs, furent elles-mêmes, et restent pour une part, très spécifiques. L'ampleur des régions à découvrir; la coexistence de milieux non cultivés et de milieux utilisés selon des méthodes très diverses; l'ampleur de certaines opérations d'aménagement et de mise en valeur ouvrant de grandes saignées (grandes coupes dans les couvertures pédologiques permettant des observations profondes et en continu sur de longues distances; défrichements de la végétation sur de grandes surfaces dont on peut suivre ensuite l'évolution superficielle en fonction des systèmes de mise en valeur); la disponibilité de la main d'oeuvre et des terrains, permettant de "trouer à volonté" partout où cela s'avère nécessaire et possible; et puis, ce choix fait, par les chercheurs et par les techniciens, de se soumettre aux exigences du terrain: c'est-à-dire de vivre, des mois durant, année après année, sur le terrain, dans des conditions souvent difficiles; ces chercheurs et techniciens, à la fois explorateurs et savants, ont pu ainsi, grâce à ce choix des travaux de terrain vécus en continu, vécus aux différentes échelles du paysage, mieux analyser, mieux suivre, mieux comprendre l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes dans lesquels ils vivaient pour les étudier.

2. LE DEVELOPPEMENT HISTORIQUE DES DEMARCHES ET DES DECOUVERTES

Spécificité des milieux, spécificité des conditions de travail: elles se sont dès le départ imposées aux pédologues; ils surent y répondre, par des démarches successives dont il est bon maintenant de se souvenir, car elles expliquent les découvertes et elles s'expliquent, dans leur succession, par ces découvertes.

La première démarche, des années 1945-1960, fut celle des grands parcours d'inventaire, à l'échelle du continent, et fut celle des cartographies à petite échelle. C'est la découverte, libre

de tout référentiel, si ce n'est le concept de zonalité climatique. C'est l'exploration, fondée sur l'observation de profils dont l'implantation est facilitée:

- par l'existence de grands territoires monotones apparemment homogènes;
- par une certaine zonalité climatique, évidente grâce à ses traductions dans les couverts végétaux et dans les reliefs;
- par le voisinage de vastes zones non cultivées et de zones mises en valeur selon des méthodes et pour des objectifs variés.

Les grands ensembles pédologiques intertropicaux furent ainsi reconnus, dans leurs caractères les plus généraux et dans leurs distributions régionales. Certaines de leurs relations avec les traits majeurs du milieu purent dès lors être posées: les zonalités climatiques, les contacts forêt-savane, les variations en fonction des roches et en fonction des grands traits du relief telles les surfaces étagées. Par ailleurs, la spécificité du comportement, de la fertilité, de la fragilité de ces sols fut également mise en évidence dès cette époque, mais sans être alors vraiment comprise et, à plus forte raison, maîtrisée.

Les études pédologiques et agronomiques se développant parallèlement en milieux tempérés, des tentatives de transferts méthodologiques furent faites, en particulier en matière d'interprétations pédogénétiques, de traductions cartographiques, d'interprétation des comportements agronomiques. Infructueuses, car trop fondées sur la recherche de corrélations avec des facteurs actuels du milieu, ces tentatives eurent néanmoins le mérite de révéler progressivement les limites de la monotonie et de la zonalité des paysages et des couvertures pédologiques intertropicales, qui ne sont réellement perçues qu'à petite échelle.

Les zonalités climatiques et les distributions en fonction des roches se révélèrent, en fait, profondément perturbées par les distributions en fonction des reliefs, distributions qui ne pouvaient s'expliquer, et ce furent deux hypothèses clés, que par l'existence de différenciations latérales et par l'importance du facteur temps, en particulier du facteur histoire des sols et des paysages.

Ces premiers résultats généraux étant acquis, ces hypothèses étant lancées, il fallait changer d'échelles, changer de méthodes, changer d'esprit. Petite révolution culturelle qui marqua les années 1960-1980; elle fut facilitée d'une part par la netteté de nombre de différenciations morphologiques verticales et latérales, d'autre part par la possibilité d'utiliser de nouvelles techniques d'observations, de mesures, d'expérimentation, sur le terrain et en laboratoire. Deux échelles furent progressivement privilégiées: celle du bassin versant élémentaire au sein duquel on étudie avec soin la distribution des profils, puis des horizons, des caractères morphologiques, des constituants, des propriétés physico-chimiques, de certains comportements; celle des microstructures qui permet d'appliquer la démarche pétrologique et d'en démontrer la fécondité: découverte des microsystèmes d'organisation, interprétation chronologique des traits, des structures, des constituants.

Les interprétations pédogénétiques de ces observations et analyses se sont affrontées tout au cours de ces années 1960-1980, mais elles ont aussi progressivement évolué. Après les vues zonales et actualistes des années 1945-1960, on eut d'abord tendance à attribuer à la géomorphogenèse et aux climats du passé des rôles prépondérants par rapport à la pédogenèse: érosion, remaniement, sols tronqués, sols enterrés, discontinuités lithologiques, paléosols, furent à la base de nombre d'interprétations d'études et de cartographies détaillées. Mais parallèlement, l'affinement de l'analyse structurale des sols, à différentes échelles, la mise en route progressive d'observations, de mesures, d'expérimentations, sur les fonctionnements actuels des sols, (dynamique de l'eau et des solutions, transferts de particules et d'éléments, activités biologiques), et sur les comportements de ces sols face aux techniques de mise en valeur, tout ceci révéla progressivement la prédominance des mécanismes proprement pédo-

logiques, et l'existence de systèmes de transformations des constituants et des organisations pédologiques: ces transformations font se succéder en un même lieu, par autodéveloppement ou par variations des facteurs externes, des "types de sols" considérés comme très différents; elle font se succéder en un même lieu, à l'échelle du bassin versant, et souvent très vite, des ensembles pédologiques différents mais chronologiquement reliés; le tout ayant, sur le relief, sur la végétation, sur l'écosystème dans son ensemble, des conséquences importantes. De la notion du sol évoluant sous l'action de facteurs externes, (relief, végétation, ruissellement...), on en est ainsi venu à la notion de la couverture pédologique partie intégrante de l'écosystème et influençant profondément le fonctionnement et les transformations de l'écosystème et du relief avec lesquels elle se développe.

Tout ceci permet aujourd'hui de reposer fondamentalement l'ensemble des concepts et des démarches qui sont à la base de l'étude, de la cartographie, de l'interprétation, de l'utilisation de la couverture pédologique.

3. LES PRINCIPAUX APPORTS A LA PEDOLOGIE DE LA CONNAISSANCE DES SOLS INTERTROPICAUX

Spécificité des milieux, spécificité des couvertures pédologiques, spécificité des démarches utilisées pour les connaître et les comprendre: il ne s'agit pas ici maintenant de détailler ces spécificités, mais de souligner en quoi elles permettent d'enrichir la pédologie.

Quatre aspects paraissent essentiels:

le sol, milieu organisé;

le sol, milieu de concentrations minérales;

le sol, agent d'élaboration des formes du relief;

l'homme, agent puissant de la transformation du sol.

Quatre thèmes, quatre apports, qui permettent de reconsidérer, partout dans le monde, les approches et les fonctions de la couverture pédologique.

3.1. LE SOL, MILIEU ORGANISE

La perception du fait que le sol est un milieu organisé, structuré, que les distributions des constituants les uns par rapport aux autres ne sont jamais quelconques, n'est par récente, en tous les cas pour ceux qui ont su depuis plusieurs dizaines d'années associer le terrain et le microscope.

Cependant, la connaissance réelle, détaillée, des structures des couvertures pédologiques, aux échelles qui sont vraiment celles de ces structures, reste très souvent à découvrir: les difficultés méthodologiques; le respect de certaines démarches classificatrices; la méfiance des chimistes, des physiiciens, des mécaniciens, vis-à-vis d'une approche structurale des propriétés du sol; tout ceci contribue, encore aujourd'hui, à retarder la connaissance et la compréhension de l'anatomie de bon nombre de couvertures pédologiques, dont pourtant on use et on abuse pour le développement des sociétés.

En milieu intertropical, et pendant longtemps surtout en Afrique, les choses se sont déroulées autrement. Les raisons, déjà évoquées, sont multiples: le travail, simultané ou successif, à différentes échelles; la volonté de découvrir le sol à partir des seuls caractères intrinsèques du sol; le choix, fait progressivement mais imposé par la réalité, d'échapper à certaines contraintes conceptuelles tels le profil-type et les classifications génétiques de pédons.

Tout ceci a permis de mettre en évidence deux réalités fondamentales:

1) L'existence de structures qui, à toutes les échelles, depuis le cristal et la cellule jusqu'au bassin versant et au paysage régional, rassemblent, organisent les constituants, minéraux et organiques, inertes et vivants, de la couverture pédologique. Ces structures sont spécifiques du milieu pédologique et en constituent la principale originalité.

2) Plus important encore, l'existence de relations spatiales et de relations temporelles entre ces structures, relations que l'on met en évidence par l'analyse détaillée, aux différentes échelles, des distributions verticales et latérales, des constituants et des structures. Des observations et des mesures dynamiques confirment la réalité de certaines de ces relations spatiales et temporelles, et montrent que les structures, qui se traduisent en particulier par des systèmes de porosité, par des concentrations de certains constituants, par des interfaces d'horizons, etc. ..., jouent, à toutes les échelles, des rôles fondamentaux dans les fonctionnements physico-chimiques, mécaniques, biologiques des sols.

La démonstration de l'organisation à quatre dimensions de la couverture pédologique a ainsi pu être souvent faite en milieu intertropical. Et les leçons que l'on doit en retenir sont essentielles:

1) A toutes les échelles, des traits pédologiques, des types d'horizons, des "types de sols", généralement considérés comme très différents les uns des autres, sont en fait étroitement reliés entre eux:

ils le sont dans l'espace, verticalement et latéralement, souvent sur de grandes distances: l'existence, en particulier, de relations latérales, de transferts latéraux de matière à l'intérieur de certaines couvertures pédologiques, a été à maintes reprises démontrée;

ils le sont dans le temps, c'est-à-dire qu'ils se succèdent dans le temps en un même lieu, par autodéveloppement de la couverture pédologique, ou par variation des facteurs externes.

Relations spatiales et relations temporelles sont évidemment étroitement imbriquées: fréquemment, les distributions spatiales des structures pédologiques, c'est-à-dire des divers types de traits pédologiques, de vides, d'agrégats, d'horizons, de superpositions d'horizons, de toposéquences, expriment les divers stades d'évolution d'une même couverture pédologique.

On a pu même démontrer, dans certaines couvertures pédologiques, l'analogie, à différents niveaux d'organisation, des distributions structurales verticales, latérales et temporelles.

2) L'unité d'organisation, "l'individu-sol", que l'on doit connaître, analyser, et qui servira de base pour les représentations cartographiques et pour les transferts de connaissance, n'est pas d'un modèle unique. Ceci oblige à repenser les démarches cartographiques, les démarches typologiques et taxonomiques, les démarches classificatrices.

3.2. LE SOL, MILIEU DE CONCENTRATIONS MINÉRALES

Les fortes concentrations, mono-minérales et subsuperficielles, d'alumine, de fer, de manganèse, de kaolinite, de smectites, de carbonates, de sulfates, de chlorures, couvrent dans les régions intertropicales des surfaces considérables.

L'origine pédologique de la plupart de ces concentrations, par altération, transferts, accumulations relatives ou absolues, genèse de minéraux nouveaux, ceci dans le cadre d'un milieu structural en perpétuelle évolution et qui est à la fois guide et conséquence des mécanismes de concentration, tout ceci a été à maintes reprises analysé et mis en évidence.

Dans ce domaine, en fait, la recherche fut largement pluridisciplinaire: géologues, géo-

morphologues, pédologues, géochimistes, minéralogistes, métallogénistes, se sont relayés, se sont confrontés, mais surtout ont collaboré pour débrouiller progressivement la complexité de ces concentrations et converger d'année en année vers un certain nombre d'hypothèses communes quant à leur genèse.

Aujourd'hui, grâce à ces travaux, les mécanismes de transferts dans les sols, les comportements géochimiques de certains constituants, les gîtes de certaines concentrations minérales dans les sols et dans les séries dites sédimentaires, sont vus et étudiés, un peu partout dans le monde, selon des démarches nouvelles. Accumulation relative d'un élément par départ des autres constituants; accumulation absolue par remplissage de vides; accumulation absolue par remplacement isovolume, par épigénie: l'analyse structurale de ces accumulations a permis ainsi à la géochimie de faire des progrès significatifs.

3.3. LE SOL, AGENT D'ELABORATION DES FORMES DU RELIEF

La recherche de relations entre les sols et les reliefs est une préoccupation permanente du pédologue.

L'importance en milieu intertropical des phénomènes d'altération chimique, de soutirages de matière, de concentrations minérales résiduelles, a permis de montrer que le rôle, dans l'élaboration des reliefs, des mécanismes géochimiques et des mécanismes de différenciation de la couverture pédologique, ne se réduisait pas à la simple préparation d'un matériau plus facile à éroder. Il y a aussi rectification des reliefs par transformation minéralogique, par soutirage géochimique, par modification des circulations de l'eau au sein et au sommet des sols.

Ainsi, dans la plupart des couvertures pédologiques des milieux intertropicaux, on est amené à distinguer trois ensembles:

1) A la base des manteaux d'altération, il y a un ensemble d'altérites plus ou moins épaisses, où les mécanismes pédogénétiques ne perturbent pas les principales structures et les volumes originels des roches mères. Les soutirages, les transformations, les épigénies, les genèses de structures nouvelles, s'y font avec conservation des volumes, donc sans influence directe sur le relief. Cependant, la création de structures et de discontinuités nouvelles peut déjà, éventuellement, modifier la circulation des eaux, donc modifier l'alimentation latérale des sources et des rivières dont le pouvoir d'érosion et de transfert peut ainsi être influencé.

2) Au-dessus, l'accentuation des soustractions provoque la destruction de l'isovolume. Il y a déformation et effondrement des structures lithologiques, tassement des volumes, développement des différenciations structurales pédologiques. La surface du sol enregistre ces affaissements. C'est au sein de ce deuxième ensemble que les migrations latérales prennent souvent beaucoup d'importance: il peut s'agir alors d'une véritable érosion interne, dont le rôle aplanissant est significatif. Certaines différenciations structurales peuvent, par ailleurs, en créant des plans de discontinuité, faciliter le déclenchement de véritables glissements de terrain.

3) Enfin, à la surface du sol, l'érosion travaille sur les matériaux longuement préparés par les mécanismes pédogénétiques, résiduels de la pédogenèse: l'intensité de cette érosion dépend à la fois des types de porosité et de la fragilité des structures.

Il faut souligner au passage les relations étroites qui apparaissent entre les structures de la couverture pédologique et les régimes hydrologiques: là aussi se situe l'un des apports les plus fondamentaux de la recherche pédologique intertropicale.

3.4. L'HOMME, AGENT PUISSANT DE LA TRANSFORMATION DU SOL

L'inadéquation en milieu intertropical des critères de fertilité établis en régions tempérées s'est rapidement imposée aux pédologues travaillant dans ces régions. Les raisons en sont multiples: les solutions du sol y sont plus diluées; les teneurs en nutriments sont moindres, ou plus dispersées; les capacités d'échange sont plus faibles; les lixiviations sont extrêmes; la gamme des pH est plus étalée; certains compartiments organiques y ont une stabilité plus faible; certains processus sont bloqués par la dessiccation extrême de saison sèche; par contre, les renouvellements sont plus rapides; enfin, certaines structures sont plus fragiles et se transforment très vite.

La prise de conscience de ces différences, dues pour l'essentiel à l'importance de l'apport pluvial et à sa répartition souvent contrastée, fut contemporaine du progrès des techniques d'identification et de quantification des constituants. Elle suscita la mise au point de nouvelles méthodologies analytiques.

Cependant, l'apport le plus important des études agro-pédologiques en milieu intertropical est la mise en évidence du rôle capital de l'homme dans l'évolution actuelle des couvertures pédologiques. La comparaison des zones non cultivées et des zones défrichées, le suivi de l'évolution des sols en fonction des techniques de défrichement puis des techniques culturales, révèlent que les ruptures d'équilibre provoquées par ces changements entraînent très rapidement des modifications morphologiques spectaculaires: érosion bien sûr, mais cette érosion n'est en fait que le résultat de modifications structurales plus profondes dont les facteurs sont multiples: tassements lors des défrichements, modifications totales des activités biologiques, dessiccations extrêmes pendant les saisons sèches. Tout ceci affecte les porosités sur plusieurs dizaines de centimètres du sol, modifie les régimes hydriques, modifie le sens des circulations des eaux, provoque des entraînements nouveaux de matière: l'effondrement des structures libère des particules fines qui sont lessivées, l'aération réduite facilite des mises en solution d'éléments qui sont lixiviés, la diminution des porosités accélère le déclenchement de l'érosion. Et on voit ainsi se succéder en un même lieu, très rapidement, des structures différentes, des porosités différentes, des dynamiques nouvelles, le tout allant en général vers des différenciations structurales verticales plus fortes, des engorgements temporaires plus fréquents, des dynamiques latérales plus marquées, des appauvrissements plus poussés. Il est d'ailleurs frappant de constater que certaines de ces transformations rapides sont analogues aux transformations beaucoup plus lentes qui ont marqué l'histoire pré-anthropique de ces sols, histoire que la lecture de l'analyse structurale des couvertures pédologiques, aux différentes échelles, permet de reconstituer.

Les couvertures pédologiques étant fortement structurées, étant fortement différenciées verticalement et latéralement, étant le lieu de transferts verticaux et latéraux et de modifications structurales rapides et importantes, tout ceci oblige à repenser l'approche de la fertilité des sols. La leçon principale à tirer est que, quand on parle de fertilité du sol, de ce qu'elle est aujourd'hui, de ce que l'on souhaite qu'elle soit demain, il faut faire attention à deux choses:

1) La fertilité ne se définit pas à partir des seules caractéristiques d'un pédon, mais par les caractéristiques d'un ensemble pédologique beaucoup plus large, dont il faut connaître les variations verticales, latérales et temporelles;

2) Pour connaître la fertilité, il faut se donner les moyens de pouvoir prendre en compte, d'une façon prioritaire, les caractères morphologiques détaillés et leurs relations avec les autres caractères des sols, physico-chimiques en particulier, ainsi que leurs relations avec les mécanismes et avec les plantes.

Ceci oblige à reconcevoir complètement les démarches de l'expérimentation agronomi-

que dont les localisations et les modalités doivent tenir compte étroitement de la réalité des structures de la couverture pédologique.

4. L'AVENIR

Tels sont, résumées, les principaux apports à la pédologie des travaux français sur les sols intertropicaux. Ces apports sont, à l'évidence, essentiels: il reste cependant à mieux les valoriser.

- Valoriser, c'est-à-dire d'abord vérifier un peu partout, dans les régions non tropicales, dans quelle mesure les leçons qui nous sont données par les sols intertropicaux sont transférables: quelques recherches ont déjà été entreprises dans ce sens en France; elles tendent à prouver une certaine généralité des leçons intertropicales; il faut multiplier ces recherches, ces vérifications.

- Valoriser, c'est-à-dire aussi se donner le temps et les moyens de repenser certaines démarches pédologiques. Il s'agit, en particulier, des démarches d'analyse structurale, des démarches cartographiques, des démarches classificatrices, des démarches d'expérimentation agronomique, des démarches de diagnostic de la fertilité des sols, des démarches pour les conseils en matière d'utilisation des sols, etc.: je voudrais à ce sujet, en conclusion de cet article, tracer quelques pistes.

La pédologie, aujourd'hui, après un siècle d'histoire, et surtout après 30 ans de développement intensif, est probablement à un tournant important de son histoire: c'est un tournant qu'il faut réussir.

Pour cela, pour prendre ce tournant correctement, il faut se reposer quatre types de questions: questions classiques, mais auxquelles il faut donner de nouvelles réponses. Ces questions sont les suivantes:

la pédologie pour qui, pour quels objectifs, pour quels utilisateurs

le sol que nous devons étudier, comment le percevons-nous, comment le définissons-nous;

étudier le sol, qu'est-ce que cela veut dire, de quoi s'agit-il exactement;

enfin, en application des réponses données aux trois premières questions, quelles priorités voyons-nous aujourd'hui pour les travaux de recherche en pédologie.

A partir des apports de l'étude des sols intertropicaux, les principales réponses que l'on peut donner à ces quatre questions me paraissent devoir être les suivantes:

4.1. LA PEDOLOGIE POUR QUI, POUR QUELS OBJECTIFS, POUR QUELS UTILISATEURS?

Un peu partout dans le monde, et en particulier là où l'intensification de l'utilisation des sols s'accélère, les divers "utilisateurs" des sols, ainsi que les responsables de la planification de l'utilisation et de l'aménagement du milieu, ressentent de plus en plus le besoin de disposer d'études pédologiques détaillées et, en particulier, de disposer de cartes pédologiques aussi précises que possible.

Il y a à cela, 5 raisons principales:

a) Les volumes et les qualités des productions agricoles et forestières dépendent des propriétés des sols et surtout dépendent de la façon dont sont traités, travaillés, améliorés, protégés, les sols.

b) Les régimes hydrologiques, ainsi que les qualités chimiques et biologiques des eaux, dans les nappes phréatiques et dans les rivières, sont fortement influencés par les sols, que les eaux traversent plus ou moins lentement et selon des trajets plus ou moins longs, avant d'atteindre les réservoirs et les exutoires. Toutes modifications, morphologiques, physico-chimiques, biologiques, des sols influencent les eaux; c'est-à-dire que toutes modifications de l'utilisation des sols (types d'utilisateurs; modalités de l'utilisation) influencent les eaux.

c) La résistance d'une construction, qu'elle soit routière, immobilière, industrielle; son influence sur les eaux (régimes hydrologiques et qualité des eaux), sur les sols environnants (érosion, transformation de certaines propriétés physiques et chimiques), sur la végétation, etc. ..., dépendent des propriétés des sols sur lesquels, et au milieu desquels, la construction est réalisée, et dépendent de la façon dont les sols ont été traités au cours de la construction. Le sol est par ailleurs souvent utilisé comme matériau (pour la construction, pour l'industrie, ...).

d) Les systèmes pédologiques sont de plus en plus souvent utilisés pour l'épuration des déchets agricoles, industriels, urbains.

e) Dans les régions où les sols sont épais (principalement les milieux tropicaux et équatoriaux), c'est par l'étude de ces sols que l'on peut le plus facilement réaliser certaines prospections géologiques et la recherche de certaines concentrations minérales subsuperficielles.

Il ne faut donc pas réduire l'étude des sols au seul objectif agricole

4.2. LE SOL, QU'EST-CE QUE C'EST

Il y a à cette question 4 réponses essentielles:

a) Le sol, la couverture pédologique, milieu à constituants minéraux et organique solides, liquides et gazeux, inertes ou vivants, est un milieu organisé, structuré. Les constituants ne sont pas disposés les uns par rapport aux autres d'une manière quelconque. Le sol a une morphologie: c'est son anatomie. Un des aspects essentiels de cette morphologie, est la porosité: le sol est un milieu poreux et cette porosité joue des rôles essentiels.

b) Le sol est un milieu continu au sein duquel il est artificiel et dangereux de vouloir continuer à individualiser des unités définies par un profil vertical que l'on cherchera ensuite à caractériser, à classer, à cartographier. L'individu-sol, équivalent à l'individu-animal, ou à l'individu-végétal, n'existe pas à ce niveau. Le rêve du profil individu-sol doit être abandonné.

c) Le sol est un milieu dynamique, en perpétuelle évolution:

il y a évolution, transformation, permanente, cycliques ou non, des constituants, des structures, des systèmes poreux.

il y a au sein des sols, transferts, permanents ou intermittents, de matières, solides, liquides, gazeuses, biologiques.

d) Le sol étant un milieu en perpétuelle évolution, en perpétuelle transformation, le sol a un passé et il a un futur, passé que nous devons essayer de reconstituer, de comprendre, futur que nous devons essayer de prévoir et d'assumer.

4.3. ETUDIER LES SOLS, QU'EST-CE QUE CELA VEUT DIRE

Les réponses à cette troisième question se déduisent automatiquement des réponses données à la question précédente:

a) Etudier la couverture pédologique, c'est d'abord observer, mesurer, représenter,

interpréter, les organisations morphologiques. Et ceci il faut le faire aux différentes échelles, depuis le paysage jusqu'au microscope. Il s'agit d'effectuer une analyse structurale de la couverture pédologique.

b) Etudier la couverture pédologique c'est, parallèlement à l'analyse structurale, en fonction de cette analyse structurale, reconnaître et analyser les constituants, déterminer et mesurer les propriétés de ces constituants et des structures qui les organisent.

c) Etudier la couverture pédologique c'est enfin observer, suivre, mesurer, les fonctionnements, les transferts, les activités actuelles du milieu pédologique, et ceci il faut bien sûr le faire en fonction des constituants et de leurs organisations, et en relation avec les moteurs, les facteurs de ces dynamiques, à savoir: le climat, les roches, le relief, les activités biologiques, les activités humaines, ...

4.4. QUELLES PRIORITES POUR LES TRAVAUX DE RECHERCHER EN PEDOLOGIE.

Des réponses données aux trois questions précédents, se déduisent trois priorités.

4.4.1. *L'analyse structurale*

Un énorme travail d'inventaire des sols a déjà été réalisé à travers le monde. C'était indispensable et il faut poursuivre.

Mais parallèlement, il faut se donner les moyens d'affiner ce travail c'est à dire d'affiner la connaissance des organisations des divers types de couvertures pédologiques déjà inventoriées. Et, pour cela, il est indispensable de changer, à la fois, de démarche et d'échelle.

a) Changer de démarche: il s'agit avant tout de choisir de privilégier l'analyse structurale objective indépendante de tout système de référence et en particulier de tout système de classification. A titre d'exemples, ceci veut dire:

— qu'il faut privilégier la reconnaissance, l'étude détaillée, la cartographie de caractères pédologiques et d'horizons pédologiques, et non pas de zones homogènes théoriques caractérisées par des profils type en référence à une classification quelle qu'elle soit;

— qu'il faut privilégier la reconnaissance, l'étude détaillée, la cartographie des limites correspondant à la modification d'un ou plusieurs caractères dans un ou plusieurs horizons: il est très important sur une carte d'avoir une bonne légende des limites.

b) Changer d'échelle: c'est à dire, par exemple, fonder les cartes à petite échelle non pas uniquement sur des études à petites échelles, mais aussi et surtout sur un certain nombre d'études très détaillées, à grande échelle, études de zones témoins, la précision d'une carte dépendant en définitive du nombre d'études à très grande échelle qu'il aura été possible de faire pour fonder la généralisation à petite échelle. Ceci est très important la précision d'une carte, la précision de la connaissance d'un milieu ne peut plus être évaluée sur la simple base du nombre d'observations à l'ha ... La précision de la connaissance d'un milieu pédologique doit dépendre du nombre d'études très détaillées, à grande échelle (1/1000 ème, 1/500 ème, avec les appuis microscopiques nécessaires) de zones tests, qui sont en général de petits bassins versants de quelques ha, que l'on prend le temps de faire avec soin, études qui sont les seules qui puissent permettre ensuite des extrapolations significatives à petite échelle, à condition de les avoir faites d'une manière très objective sans référence à des systèmes de classification qui sont toujours réductrices de la transmission de l'information.

4.4.2. *L'analyse physico-chimique et biologique*

Il s'agit de développer l'analyse des constituants et la mesure des propriétés physico-chimiques et biologiques en fonction des organisations reconnues aux différentes échelles.

Et là il faut être catégorique: on n'a pas le droit de continuer à gaspiller de l'argent à faire de bonnes analyses sur des échantillons prélevés n'importe comment, analyses dont l'interprétation sera de ce fait toujours erronée.

A toutes les échelles il faut maintenant se donner les moyens de reconnaître et d'analyser les constituants en fonction de leur localisation: localisation par rapport aux autres constituants et localisation par rapport aux vides, à la porosité. En effet, ce qui nous importe ce n'est pas tellement de savoir si un horizon pédologique est pauvre ou riche en tel ou tel élément, ou de savoir si la capacité d'échange des constituants de tel horizon est forte ou faible. Ce qu'il est important de savoir c'est si, oui ou non, les éléments nécessaires à la plante sont accessible aux racines de cette plante, et nous savons que cette accessibilité dépend largement des structures, des organisation des localisations. Ce qui nous importe aussi c'est de savoir si la capacité d'échange de tel constituant est accessible ou non à la circulation de certaines solutions et à l'échange avec les racines; et ceci aussi dépend des structures, des organisations, des localisations. Il y a là à faire un énorme effort de logique et de précision.

4.4.3. *L'observation et les mesures des fonctionnements*

Il s'agit de développer ces observations et mesures encore beaucoup trop rares et incomplètes:

- évolution des constituants;
- modifications, cycliques ou non, des organisations: des structures, des porosites;
- fonctionnement des transferts solides, liquides, gazeux, le plus important aujourd'hui étant certainement d'améliorer nos connaissances sur les transferts hydriques de l'eau et des solutions en fonction des systèmes structuraux et en fonction des systèmes biologiques: c'est le vaste problème des relations sols - eau - plante qui règlent une grande partie du comportement, de la fertilité, de la conservation des sols.

Dans ce domaine, comme dans d'autres, il faut arrêter de se contenter de corrélations entre des observations et des mesures statiques pour en déduire des dynamiques. Il faut se donner les moyens de mettre en évidence, d'observer et de mesurer les dynamiques.

Toutes ces études, d'analyses structurales, d'analyses physico-chimique localisées, de mesures de fonctionnement, sont déjà entreprises, ça et là, dans différentes régions du monde. Il faut aujourd'hui leur donner la priorité, méthodologique et budgétaire, et aussi la priorité au niveau de l'enseignement, technique et supérieur: il faut d'ailleurs, pour cela, reconcevoir l'enseignement de la pédologie et il faut considérablement élargir la clientèle de cet enseignement.

Le concept fondamental, essentiel, qui doit soutendre les recherches futures en pédologie, est celui du sol = milieu organisé, milieu structuré: la couverture pédologique, comme toute entité naturelle, est avant tout un milieu structuré. Ceci veut dire que:

- connaître un sol, connaître une couverture pédologique, c'est d'abord, avant tout, connaître son organisation morphologique, à toutes les échelles, depuis le paysage jusqu'au cristal;

— utiliser un sol, utiliser une couverture pédologique, c'est aussi et avant tout valoriser son organisation morphologique.

Il y a aujourd'hui en pédologie, une évolution dangereuse qu'il faut enrayer: c'est celle qui creuse un fossé entre:

— d'une part ceux qui font surtout du terrain et à qui l'on ne veut donner ni le droit ni le temps de faire des études détaillées, à qui l'on demande d'appliquer des recettes c'est à dire des classifications, des glossaires, des méthodes toutes faites, passe-partout, de descriptions et de cartographie des sols;

— d'autre part ceux, en blouses blanches, qui ne font que du laboratoire, des observations et des analyses très fines, très complexes, aux résultats certes excellents, très sophistiqués, mais dont on est souvent incapables de délimiter leurs champs d'application parce que les échantillons ont été détachés de tous contextes naturels.

La recherche pédologique, au service de la connaissance, mais aussi au service du développement, au service des agriculteurs, des aménageurs, des forestiers, des architectes, doit être avant tout un travail d'équipes associant divers types de spécialistes du sol, et surtout pour tous, pour tous les spécialistes, un aller-retour permanent entre le terrain et le laboratoire, entre le macro et le micro, entre l'observation et la mesure, entre la marche à pied et la micro-sonde.

La priorité est aujourd'hui à la constitution, au développement de ces équipes pédologiques, qui doivent elles-mêmes s'associer à d'autres spécialistes de la recherche pour la connaissance et la valorisation des milieux et des sociétés.

Address of author:
A. Ruellan, ORSTOM, 24 Rue Bayard
75008 Paris, France