

MILIEU NATUREL, PEDOGENESE ET PROSPECTION DU TERRAIN EN PEDOLOGIE AGRICOLE (1)

par Gilbert GAUCHER *

RESUME. — L'auteur cherche à justifier la méthode de prospection pédologique appliquée maintenant par les pédologues de l'IRAT, et qui consiste à partir d'une connaissance interdisciplinaire du milieu naturel pour parvenir à celle des propriétés des sols. Après avoir montré que cette méthode se conforme aux contraintes rencontrées dans l'étude du terrain, et notamment à la nécessité d'adopter une position d'ingénieur et de rechercher l'efficacité, il discute les critiques couramment adressées aux méthodes d'inspiration déductive (manque d'objectivité, conception contestable de la hiérarchie des processus), puis il relate comment l'analyse des écosystèmes permet au pédologue de contrôler et de raisonner ses observations. Enfin, aux moyens de plusieurs exemples empruntés principalement aux sols tropicaux, l'auteur montre comment l'étude des sols risque de rester incomplète faute d'une connaissance préalable du milieu naturel.

Mots-clés : pédologie, pédogénèse, vocation des terres, prospection, environnement.

La section de Pédologie de l'IRAT a révisé et modifié ses méthodes d'étude des sols, et a adopté, dans les opérations de mise en valeur agricole, une **méthodologie qui part d'une connaissance interdisciplinaire du milieu naturel pour parvenir à celle des propriétés des sols.**

Il s'agit d'un choix mûrement réfléchi puisqu'il a commencé à se dessiner en 1970. Il obéit à des raisons logiques et à des motifs d'efficacité. La méthode elle-même conduit à une compréhension beaucoup plus large des phénomènes, et elle permet de dégager les contraintes du milieu naturel d'une façon aussi bien **globale** que **détaillée**, selon les exigences de l'étude. Elle entraîne aussi un nouveau mode de présentation des conclusions et de la mise en forme des documents cartographiques.

Les circonstances ont fait que j'ai participé à ce choix, et M. KILIAN m'a demandé de développer quelques-unes des considérations qui nous ont guidés.

J'ai pensé qu'il fallait insister particulièrement sur deux thèmes principaux.

D'abord, donner une justification logique de la doctrine actuelle de la section de Pédologie de l'IRAT, autrement dit : établir la **légitimité logique** des cheminements d'idées fondamentaux. En effet, les critiques ne manquent pas à l'encontre d'une méthode qui consiste à identifier les phénomènes et à reconnaître les processus en partant du cadre ou du contexte naturels qui les contiennent et les orientent. Or, nous verrons que ces critiques sont très discutables, que les autres méthodes, dont l'emploi nous est recommandé par ailleurs, ne sont pas exemptes de réserves du point de vue de la logique, et enfin nous verrons aussi qu'il existe, pour notre façon de raisonner et de conclure, des possibilités de contrôle qui permettent de déceler l'erreur et de la réduire considérablement.

Deuxièmement, je voudrais appuyer cette légitimité logique sur quelques exemples, et montrer que, dans de nombreux cas, l'étude des propriétés des sols reste longue et incomplète, si l'on ne possède pas une connaissance **préalable** des milieux naturels dans lesquels ces sols se sont formés.

(1) Exposé fait le 5 juillet 1974 à la réunion « Synthèse Agronomie de l'IRAT ».

(2) GAUCHER (G.) Ingénieur agricole, licencié ès-sciences, 32, rue Lamennais, 92370 Chaville.

PREMIERE PARTIE

BASES LOGIQUES D'UNE METHODE DEDUCTIVE DE PROSPECTION PEDOLOGIQUE

Je crois cependant qu'il est nécessaire, avant d'aborder le sujet, de rappeler quelques-unes des conditions dans lesquelles le pédologue spécialiste de la pédologie agricole travaille sur le terrain en raison de l'attitude que ces conditions lui imposent.

CONDITIONS ET SERVITUDES DE LA PROSPECTION PEDOLOGIQUE

A CHACUN SON OBJECTIF : AU CHERCHEUR LA VERITE, A L'INGENIEUR L'EFFICACITE.

La prospection pédologique, que nous effectuons sur le terrain, est toujours orientée vers un aménagement agricole, donc vers des **objectifs utilitaires**. On demande au pédologue d'étudier les sols pour indiquer les cultures que l'on peut y faire, et aussi de définir les techniques à employer pour améliorer ces sols. Cette prospection est donc typiquement un travail de **science appliquée**.

Elle n'a pas pour objectif final d'étudier les sols en tant qu'entités pédologiques afin de les connaître du point de vue de leur taxonomie ; son but réel consiste à dégager les propriétés agronomiques propres à chaque type de sol dans un cadre régional défini (concept de type de milieu, voir plus loin). Plutôt que de connaître les sols, le prospecteur cherche d'ailleurs plus exactement à les *reconnaître*, c'est-à-dire à *déterminer rapidement leur typologie* en partant des connaissances générales qui constituent sa formation de pédologue, puis il précise soigneusement les caractéristiques particulières qui peuvent provenir des conditions régionales de pédogenèse. Mais le travail le plus important consiste à étudier les propriétés agronomiques des sols, d'abord dans la mesure où elles dérivent de la typologie et, ensuite et surtout, en examinant comment elles se présentent dans le cadre régional ou local. On remarquera d'ailleurs que, de plus en plus, ces prospections portent sur des territoires dont les sols ont déjà été cartographiés sur la base de leur typologie taxonomique.

Le pédologue qui prospecte une région en vue d'une opération de mise en valeur, n'est donc pas dans la position d'un chercheur, mais dans celle d'un **ingénieur**. Entre la recherche de la vérité scientifique et l'efficacité, il est obligé de choisir **l'efficacité**.

Cette primauté de l'efficacité exige en outre que l'ingénieur connaisse les **causes** des phénomènes, car s'il doit modifier le milieu, comment le peut-il

autrement qu'en agissant sur les causes ? Nous verrons plus loin les incidences de cette remarque.

Il serait cependant ridicule de se complaire ici dans une opposition entre efficacité et vérité, car il est bien évident que les techniques sont d'autant plus efficaces qu'elles s'appuient sur des vérités scientifiques bien établies, mettant nettement en lumière les causes des phénomènes, mais il est incontestable que, dans les applications de la science, une dualité apparaît très fréquemment entre l'efficacité et la vérité.

Enfin, si nous sommes évidemment d'accord pour exclure le critère de finalité des explications scientifiques, il faut reconnaître que, dans un domaine **bien distinct**, la finalité oriente les entreprises humaines, et il serait regrettable qu'une position scientifique devienne une habitude intellectuelle rigoriste au point de paralyser les raisonnements de l'ingénieur.

En conclusion, l'ingénieur est **en droit de choisir la méthode la plus efficace en fonction des objectifs qui lui ont été fixés**, lorsqu'il ne peut pas attendre, pour agir, d'être en possession d'une connaissance **complète** de la vérité scientifique.

Pourtant, la pédologie est une science jeune et l'inventaire des sols du monde n'est pas achevé. Le pédologue peut donc se trouver en présence de sols dont la pédogenèse et la typologie sont encore mal définies. La typologie étant à la base du langage commun des pédologues, le prospecteur est donc amené, pour la déterminer, à faire œuvre de fondamentaliste en mobilisant les ressources de sa formation, sa perspicacité et son expérience. Signalons au passage son mérite à le faire, car ce risque, ni le temps d'y faire face, ne sont généralement prévus : disons qu'il le fait « à la sauvette ».

Bien que ce cas soit loin d'être exceptionnel, il ne doit pas mettre en cause la règle du jeu : **sur le terrain, le spécialiste de pédologie agricole ne travaille pas comme le pédologue qui fait de la recherche fondamentale.**

Enfin, ici une parenthèse pour souligner que, bien entendu, ces considérations ne mettent pas en cause l'intérêt des études fondamentales pour la pédologie agricole : l'ingénieur ne peut ignorer le chercheur, et encore moins à notre époque de formation permanente, mais la recherche suscite une autre attitude sur le terrain, et met en œuvre d'autres moyens.

L'IMPÉRATIF DE LA RAPIDITÉ

Il faut faire intervenir maintenant un autre aspect des études de pédologie agricole, du type de celles pratiquées par l'IRAT : elles sont presque toujours effectuées **dans des délais très limités**. Il en est ainsi parce que le prix de l'étude ne doit pas être trop lourd, et parfois parce que l'on a attendu le dernier moment pour commander l'étude. Quels sont ceux d'entre nous qui n'ont pas été obligés de travailler dans des conditions de chaleur ou de pluie extrêmement déplaisantes et défavorables, alors que la même mission effectuée deux ou trois mois plus tôt, ou plus tard, se serait déroulée sans ennuis ?

Sauf cas particuliers assez rares, il est impossible de procéder à des navettes entre le terrain, le laboratoire et, *a fortiori*, l'ordinateur. Nous sommes dans la situation du médecin qui doit formuler un diagnostic d'urgence pour appliquer une médication immédiate, quitte à nuancer le premier et à ajuster la deuxième après des examens plus approfondis (analyses, tests, etc.).

Dans le travail qui nous est confié, **la rapidité est une nécessité impérieuse**, une servitude. Nous ne pouvons nous y plier qu'en allant du général au particulier, et en raisonnant par déduction, et si cette méthode comporte des risques, nous devons en avoir conscience et contrôler nos raisonnements pour réduire ou supprimer ces risques.

LA NECESSITE DE PREVOIR ET D'IMAGINER, ET SES LIMITES

La prospection ne constitue qu'une partie de la mission confiée au pédologue dans une opération de mise en valeur. Le pédologue doit aussi définir **la valeur culturelle des sols** sous l'effet de nouvelles méthodes de culture. Or, le plus souvent, l'aménagement projeté modifiera les conditions d'exploitation et de production, de façon telle qu'il n'existe pas, sur les lieux, de données culturelles permettant un raisonnement fondé sur des faits concrets. Privé de bases de comparaison locales et objectives, le pédologue est obligé d'imaginer les transformations des sols, de **raisonner par analogie** et, par conséquent, **d'interpréter et d'extrapoler**. Il finit par acquérir ainsi une certaine expérience de ce type de raisonnement, expérience qui pourrait le conduire à conclure hâtivement, alors qu'au contraire il doit avoir conscience de la probabilité de ses extrapolations, jauger la faiblesse de certains arguments et s'attacher à éviter les imprudences.

Aussi, cette anticipation de l'avenir connaît-elle des limites que la prudence, précisément, interdit de transgresser.

Une idée trop répandue consiste à croire que, dans un projet d'aménagement, le pédologue partage avec les autres chargés d'étude, l'obligation de porter des jugements *défi-*

nitifs. Le plus souvent, en effet, le maître d'œuvre désire un programme d'aménagement qui puisse être appliqué définitivement, tel qu'il aura été conçu à l'issue de l'étude. Mais il convient ici de formuler des réserves et de préconiser une solution plus conforme aux possibilités réelles de prévision.

Un aménagement définitif ne peut être conseillé que dans le cas où il **modifie peu** le milieu naturel, et où les cultures préconisées sont déjà pratiquées dans la région, et continueront de constituer une part importante, sinon l'essentiel, de la production. Dans le cas contraire, il est évident qu'un programme rigide est extrêmement imprudent. Pour en être convaincu, il suffit d'avoir à l'esprit la lenteur avec laquelle se développe généralement une culture dans une région où elle était inconnue, et la nécessité d'adapter les façons aratoires à des sols dans lesquels elles n'ont jamais été pratiquées.

L'expérience a prouvé que ces programmes, présentés comme définitifs, ont dû, le plus souvent, être modifiés, ou, tout au moins assouplis, pour être adaptés à des conditions locales révélées par leur mise à exécution. Il faudrait au pédologue des dons de voyance pour prévoir *jusque dans les détails*, et pour des dizaines d'années, la *totalité* des réactions du milieu.

L'expérience prouve aussi que la progressivité est une condition essentielle de la réussite des techniques agricoles nouvelles. Sans doute la modification de l'agriculture peut être plus ou moins rapide, mais la *progressivité* est la règle d'action de l'agriculteur qui, avec raison, ne veut pas rester désarmé devant des risques qu'il connaît mal ; elle est aussi une garantie pour les aménagistes. L'application immédiate d'un système de culture conçu sans le secours de l'expérience est à déconseiller.

A partir de la dynamique actuelle, et compte tenu des tendances du milieu, le pédologue doit être capable de prévoir, dans ses grandes lignes, la nouvelle dynamique et ses incidences sur la production agricole. Mais ce n'est là qu'un cadre, à l'intérieur duquel interviennent des facteurs dont certains ne sont que soupçonnés, alors que leur influence peut s'amplifier par suite du changement des conditions de milieu : nous pensons, par exemple, à la remontée de la nappe phréatique dans les périmètres irrigués. Une quantification *a priori* de l'influence de tous les facteurs est généralement impossible. Mais si le pédologue ne peut se transformer en apprenti-sorcier pour faire le portrait du nouveau milieu, il doit pouvoir en tracer la silhouette.

Le pédologue peut proposer **plusieurs** solutions, en prévoyant la mise au point progressive de celle qui paraîtra la mieux adaptée aux circonstances, et des possibilités de passage de l'une à l'autre. Cette attitude est beaucoup plus en accord avec le caractère conjectural de l'agriculture, dont la pédologie agricole doit évidemment tenir compte.

Les maîtres d'œuvre comprennent fort bien cette position quand on prend soin de la leur expliquer : s'ils pensent parfois qu'en demandant un programme de mise en valeur,

ils achètent une *machine* qui, comme un ascenseur, doit fonctionner en appuyant sur un bouton, il faut expliquer qu'on leur livre un *procédé* qui doit être *adapté* aux conditions de milieu. Ils admettent alors qu'on leur dise *comment* ils pourront parvenir à un programme définitif à partir d'un programme provisoire conçu pour tenir compte de l'expérience fournie par les résultats culturaux.

Les délais nécessaires pour obtenir ces renseignements peuvent d'ailleurs être sensiblement réduits si l'on met en œuvre, sur des terrains représentatifs, une expérimentation adaptée aux types de milieu, qui visera essentiellement à améliorer le développement rural en vérifiant d'abord les ressources et les contraintes de ces milieux, en ajustant ensuite les systèmes de production capables d'éviter leur dégradation, et, enfin, en mettant au point les techniques culturales les plus convenables. On verra que notre conception de l'étude du terrain prépare parfaitement cette expérimentation.

Au terme de ces considérations sur les principaux aspects de la prospection pédologique orientée vers la mise en valeur agricole, on ne peut manquer de souligner combien elles confirment la **position d'ingénieur** qui est celle du pédologue dans cette opération, et qui se traduit notamment par la nécessité de la décision, la rapidité de l'intervention, l'obligation de prévoir en mesurant les risques de la prévision.

UNE METHODE DEDUCTIVE ET INTERDISCIPLINAIRE DE PROSPECTION PEDOLOGIQUE

RAPPEL DES GRANDES LIGNES DE LA METHODE

Compte tenu des conditions d'exécution et des servitudes auxquelles est soumise la prospection pédologique orientée vers la mise en valeur agricole, la section de Pédologie de l'IRAT a donc adopté une méthode qui part du milieu naturel pour aboutir à la connaissance des propriétés du sol.

M. KILIAN en a justifié les deux aspects cardinaux, chacun par une simple phrase.

La première s'inspire de la finalité de l'étude : « la pédologie seule n'est pas suffisante pour percevoir l'évolution qui résulte de la dynamique du milieu naturel ». La démarche doit donc être interdisciplinaire.

La deuxième invoque la logique du cheminement d'idée, c'est une citation empruntée à Lamarck : « Le vrai moyen de parvenir à bien connaître un objet, même dans ses plus petits détails, c'est de commencer à l'envisager dans son ensemble. » Autrement dit, la démarche doit être orientée par l'aspect global du phénomène à étudier.

Reprenons le premier point. Le pédologue doit donc adopter une démarche interdisciplinaire pour étudier le milieu naturel, puis les sols qui l'inté-

ressent. Deux voies s'offrent en effet à lui pour parvenir à la connaissance des faits observables sur le terrain.

La première consiste à recueillir des données fournies essentiellement par la morphologie des profils puis, dans un deuxième temps, à les interpréter en les comparant à un ensemble de données déjà enregistrées, traitées et interprétées. Cette méthode procède du raisonnement inductif ; elle a le mérite de l'**objectivité**, mais elle est **lente**, et réclame un **très grand nombre d'observations**. C'est la méthode de la recherche fondamentale.

La deuxième voie débute par un inventaire des caractéristiques essentielles de l'environnement, passe par une estimation du rôle joué par les facteurs du milieu naturel, puis par une supputation de leurs effets et elle aboutit à un premier contrôle, sur le terrain, de la présence de ces effets. C'est un cheminement d'idées **déductif**, qui est toujours dialectique et fréquemment interprétatif : il déduit, de la nature du milieu, le type de la pédogenèse et trouve dans la morphologie du profil la preuve que la pédogenèse est bien celle que l'on attendait ; mais la morphologie du profil n'est pas pour autant négligée : nous y reviendrons plus loin.

Cette dernière méthode est la nôtre.

Pourquoi l'avons-nous choisie ? D'abord sous l'empire de la nécessité, et nous avons tout à l'heure justifié cette contrainte. Ensuite parce qu'elle conduit **plus rapidement** à un ensemble **plus complet** et **plus cohérent** d'informations.

Je ne pense pas devoir revenir sur les principes de cette méthode, ni sur sa technique d'application. TRICART et KILIAN ont rédigé plusieurs publications à ce sujet et, notamment, dans le dernier numéro de « l'Agronomie Tropicale » (1). Pour ma part, j'ai cherché, il y a quelques années, à montrer l'aide que la géomorphologie peut apporter à la prospection pédologique (2), car j'ai préconisé, depuis longtemps déjà, l'emploi de raisonnements déductifs dans la prospection pédologique. Je rappellerais seulement que, si cette méthode de prospection est basée sur la **reconnaissance des unités morphopédologiques**, c'est bien parce que la géomorphologie révèle, **plus vite** et **mieux** que la pédologie, l'histoire et les limites des milieux naturels, ainsi que les processus qui ont donné aux sols leurs caractéristiques et déterminé la dynamique de leur évolution. En analysant ainsi la part de la morphogenèse et de la pédogenèse

(1) TRICART (J.). De la géomorphologie à l'étude écographique intégrée. *L'Agronomie Tropicale*, vol. XXIX, 1974, nos 2 et 5.

KILIAN (J.). Etude du milieu physique en vue de son aménagement. Conception de travail. Méthodes cartographiques, *Ibidem*.

(2) GAUCHER (G.). Contribution de la géomorphologie à la prospection pédologique. 1972, *Ann. de Géographie*, année LXXXI.

dans l'édification du milieu naturel, nous pouvons reconnaître le **déterminisme** qui enchaîne les causes et les effets et, par déduction, coordonner et hiérarchiser plus facilement les éléments de ce milieu. Nous pouvons également introduire dans nos raisonnements la notion de **stabilité ou d'instabilité du milieu naturel**, qui est primordiale pour prévoir le destin des aménagements qu'on se propose de réaliser.

La nature déductive du raisonnement confère à cette méthode le mérite de pousser le pédologue à rechercher, dans ses observations ponctuelles, la présence de faits qui sont la conséquence naturelle de la structure du milieu, et spécialement de ses caractéristiques, alors que ces faits peuvent passer inaperçus aux yeux d'un observateur non prévenu. Nous pratiquons ainsi, *dans la ligne de la pensée de Lamarck*, une conception *explicative* de l'étude des sols, et nous aboutissons finalement à des *possibilités de prévision* plus larges du destin des sols sous l'influence des opérations de mise en valeur.

ANALYSE DES PRINCIPAUX RISQUES D'UNE METHODE DE PROSPECTION BASEE SUR UN RAISONNEMENT DEDUCTIF

Que peut-on reprocher à cette méthode ?

D'abord, de **manquer d'objectivité** ; non pas parce qu'elle conduit à des observations plus fragmentaires : nous avons vu au contraire qu'elle amène à recueillir plus rapidement des observations plus nombreuses que ne le ferait une méthode inductive, mais parce que le relevé de ces observations est **guidé** par l'**idée** que nous nous faisons de la constitution et du régime du milieu naturel.

On peut la soupçonner ensuite d'une tendance à instaurer, entre les phénomènes naturels, une **hiérarchie** qui n'est pas forcément celle qui existe dans la nature.

a) Voyons d'abord la **question de l'objectivité** :

L'objectivité est une nécessité de la recherche fondamentale. Elle l'est moins dans la science appliquée, car celle-ci s'appuie sur une connaissance **déjà acquise** des phénomènes, de leurs caractéristiques, de leurs causes et de leurs effets.

On pense souvent, maintenant, que l'ordinateur est un garant de l'objectivité, parce que la réponse à la question posée est fournie par une mécanique et non par un cerveau humain. C'est une vue un peu sommaire des choses. Les véritables avantages de l'ordinateur sont sa capacité de stockage et sa rapidité de calcul, et ces avantages sont autant appréciables, sinon plus, dans la recherche appliquée que dans la recherche fondamentale. L'ordinateur ne remplace pas l'homme mais lui permet d'aller plus vite et plus loin.

En réalité, le souci d'objectivité est une **attitude** scientifique, et l'objectivité ne peut résulter de l'emploi d'un appareillage.

D'autre part, l'**objectivité totale** est **pratiquement impossible**, parce qu'elle suppose une prise en compte **intégrale** des données. Or notre connaissance des phénomènes est toujours plus ou moins fragmentaire et, deuxièmement, une prise en compte intégrale des données, conduirait à un prix de revient incompatible avec les crédits accordés à une prospection pédologique ; il n'en est pas de même, évidemment, quand on envoie des hommes sur la lune.

On est donc toujours amené à faire un **choix** entre les données à enregistrer, ce qui suppose que l'on se conforme à une hiérarchie établie **plus ou moins consciemment** entre elles : en réalité, le choix se fait toujours en faveur de données traditionnellement admises comme étant les plus importantes. Ainsi POUQUET a signalé l'influence des ultra-violets sur la rapidité d'altération des roches et j'ai suggéré le rôle du magnétisme dans l'andosolisation : actuellement, les chances sont nulles de voir figurer, dans les programmes d'ordinateur, l'intensité de la radiation ultra-violette ou celle du champ magnétique, parce que seules les données traditionnelles peuvent **économiquement** être prises en compte. Il ne peut en être autrement que si l'on décide d'étudier particulièrement certains milieux de pédogenèse dans une optique de recherche fondamentale.

Dans le même ordre d'idées, les deux glossaires de pédologie, élaborés par Informatique et Biosphère, l'ont été avec un souci constant de les rendre aussi objectifs et complets que possible. Leur utilisation dans la recherche fondamentale est pleinement justifiée, mais on peut les trouver trop complexes pour la recherche appliquée, qui est toujours orientée, et des modifications peuvent leur être apportées pour les adapter à cette dernière. On y a déjà travaillé (LEGROS).

Par conséquent, l'impératif de l'objectivité admet d'être **nuancé**, et nous pensons qu'il peut être **contrôlé** sciemment et systématiquement à partir d'un **inventaire suffisamment complet** des données et d'une **critique dialectique du déterminisme** des milieux naturels et des milieux de pédogenèse, comme nous le verrons ultérieurement.

D'autre part, nous devons ajouter aussi que beaucoup de chercheurs sont persuadés de leur objectivité, alors qu'en réalité leur option procède d'un choix plus ou moins justifié, **souvent inconséquent**, au point que l'interprétation, qui guide ce choix, passe inaperçue.

Nous citerons deux exemples.

Quand nous choisissons un emplacement pour observer un profil, nous poursuivons généralement l'un des trois objectifs suivants :

- nous pensons avoir trouvé un profil représentatif,
- nous voulons contrôler une transition,
- nous n'avons pas d'idée préconçue, et nous voulons simplement voir le profil : c'est une « tranchée aléatoire ».

Or, si les descriptions de ces profils sont prises en mémoire dans un ordinateur, il ne paraît pas qu'elles puissent l'être de la même façon, car dans les deux premiers cas il existe déjà une interprétation. Dans la stricte objectivité, les profils « aléatoires » devraient être pris en compte séparément et être les seuls traités, quand on vise à parvenir à une caractérisation objective du milieu. Mais si, pour cerner un phénomène, il faut absolument ne faire intervenir que des observations aléatoires, on ne peut malheureusement pas compter sur nous pour alimenter la mémoire des ordinateurs, car en vertu des raisons d'économie déjà évoquées, nous cherchons à réduire le plus possible le nombre de ces observations sur le terrain.

On peut citer, comme deuxième exemple, la classification américaine des sols (Septième Approximation). Elle a été conçue avec un souci scrupuleux d'objectivité au niveau de l'enregistrement des caractères des sols. Mais une classification est obligatoirement une hiérarchie et, dans la Septième Approximation, les critères de hiérarchisation des unités de classification (taxa) procèdent d'un choix dont l'objectivité est très contestable. D'ailleurs, cette classification n'entraîne pas la convergence mentale dans la détermination de la typologie des sols (on pourra se reporter, pour s'en convaincre, à : M. JAMAGNE, Notes sur quelques sols d'Espagne et de Portugal. 1967, Bull. de l'AFES, n° 5).

En somme, l'objectivité est, comme les règles de la morale, un impératif dont beaucoup s'accommodent à leur façon et si, en raison de la nature même du travail que nous effectuons, nous ne pouvons pratiquer une objectivité systématique, il vaut mieux en être conscient, et savoir qu'en revanche il nous faut contrôler systématiquement l'objectivité de nos raisonnements, et la part d'hypothèse qui s'y associe. Nous verrons plus loin comment.

Enfin, nous devons rappeler ici, que nous ne pouvons, sur le terrain, nous contenter d'enregistrer des faits ; pour agir il nous faut connaître les **causes** et nous verrons aussi que c'est précisément en analysant et en contrôlant nos raisonnements que nous pouvons dégager les causes.

b) la deuxième question est celle de la **hiérarchie des phénomènes**.

Par plusieurs de ses aspects immédiats, elle se rattache à la notion de **continuum**.

Les faits pédologiques se présentent généralement dans ce que l'on appelle, maintenant, un continuum. Il en est de même, d'ailleurs, pour beaucoup de phénomènes étudiés par les sciences de la terre, bien que les rivières coulent entre des berges, que la mer vienne battre le pied des falaises et qu'il existe même des limites climatiques ; quant aux animaux et aux plantes, ils sont individualisés. Mais, reconnaissons tout de même que, si les phénomènes que nous étudions connaissent des limites spatiales et des effets de seuil, ils constituent généralement des enchaînements continus.

La conformation de l'esprit humain et le mode de son raisonnement, nous obligent à découper

ce continuum quand nous voulons l'étudier, et nous cherchons à le faire dans « ses points faibles », c'est-à-dire, là où nous croyons sentir une démarcation naturelle. L'esprit humain a ses lois, et il suffit d'évoquer Descartes pour savoir que, **du point de vue logique**, ces coupures sont légitimes. Elles le sont d'autant plus si, une fois parvenus à un certain degré de la connaissance, nous raisonnons systématiquement leur caractère arbitraire, et nous cherchons à reconstituer l'**unité du continuum**.

Nous pouvons le faire, et d'autant mieux que, selon la pensée de Lamarck, **nous avons pris en compte l'ensemble du milieu naturel** ; mais c'est tout de même là qu'une critique peut être adressée à notre raisonnement. Dans la reconstruction que nous faisons du milieu naturel afin de vérifier si notre analyse a été convenable, nous établissons une hiérarchie des facteurs et des phénomènes, des causes et des effets. On nous dira alors que la logique de l'esprit humain n'est pas obligatoirement la logique de la nature et que nous risquons d'aboutir à une synthèse trompeuse du milieu naturel.

La logique de la nature c'est le déterminisme : il fait intervenir des causes premières, secondes, troisièmes, etc. Dans les sciences appliquées, pour reconstituer ce déterminisme, on rétablit entre les facteurs et les processus, entre les causes et les effets, une hiérarchie conforme à celle des causes premières, secondes, troisièmes que nous révèle la recherche fondamentale. Ce serait chercher à celle-ci une mauvaise querelle que de lui attribuer la responsabilité de toutes les erreurs dans les sciences conjecturales. Mais, à l'inverse, l'homme de terrain ne peut être frappé d'indignité quand il lui arrive de mal pondérer les causes : si, dans ce domaine, la crainte l'avait condamné à l'inaction, l'humanité serait morte de faim depuis longtemps. La recherche fondamentale et la recherche appliquée procèdent continuellement par **approximations successives** à la rectification de leurs erreurs : la première est le paralytique, la seconde l'aveugle, et nous devons nous accommoder de cette symbiose.

Les résultats n'en sont pas si mauvais, puisqu'au fil des siècles l'esprit humain a suffisamment pénétré la logique de la nature pour que nous puissions envoyer des hommes sur la lune, et les en ramener. Sans doute, comme nous l'avons vu tout à l'heure, on a utilisé pour le faire des moyens d'étude puissants, et, en particulier, l'informatique. Mais ces moyens d'étude n'ont pas remis en cause, ou seulement fort peu, les connaissances acquises précédemment, dont **certaines l'ont été très anciennement**, et toutes avec le même type de raisonnement de l'esprit humain qui associe l'observation et l'hypothèse.

C'est à cette constatation que je voulais parvenir, parce qu'elle prouve que le contrôle de nos raisonnements peut être fait **de proche en proche**, par des **approximations successives** et des **vérifications partielles**, sans qu'il soit nécessaire d'attendre, pour agir, une connaissance intégrale des phénomènes.

LE CONTROLE DES OBSERVATIONS DANS UNE METHODE DEDUCTIVE DE PROSPECTION PEDOLOGIQUE

QUELQUES REMARQUES LIMINAIRES

La science fondamentale peut contrôler les faits d'observation à partir de données recueillies dans la plus stricte objectivité, et ainsi faire ressortir le déterminisme qui enchaîne les facteurs et les phénomènes, distinguer les causes premières, secondes, etc.

Sur le terrain, nous sommes **guidés** par le déterminisme ainsi découvert. Il ne faudrait pas qu'un souci démesuré de l'objectivité aboutisse à bloquer tout raisonnement déductif basé sur notre connaissance acquise de ce déterminisme, car il reste bien entendu que ces raisonnements doivent être conduits avec un esprit critique suffisant **pour que nous reconnaissons les cas où notre conception du déterminisme se montre en défaut.**

Il serait illogique, par exemple, de confier la prospection des terrains à des pédologues, si, après leur avoir appris quelles sont les conditions naturelles de la podzolisation, on leur interdisait de reconnaître qu'il existe des sols podzolisés dans un milieu où ces conditions sont réalisées, et si on les obligeait à enregistrer servilement les caractères des profils, puis à passer par un ordinateur pour constater qu'il s'agit vraiment de sols de ce type. Cette optique nous ramènerait à reconnaître la morphologie des profils comme la *seule* base de la connaissance des faits pédologiques, et l'on ne peut manquer de rappeler ici que cette conception a paralysé pendant des décennies les progrès des méthodes de la prospection pédologique.

Il serait également illogique de concevoir des classifications de sols si, sous prétexte de rester objectifs dans la détermination de la typologie, les pédologues devaient ignorer le rôle des facteurs de pédogenèse en utilisant ces classifications.

Dans toutes les disciplines scientifiques, la formation de base comporte la connaissance des lois fondamentales et **celle des conditions et des limites de leur déterminisme.**

Dès l'instant où il est admis que des contrôles **par étapes** du raisonnement scientifique sont possibles, il faudrait que, sur le terrain, le pédologue soit à la fois bien naïf et dépourvu d'esprit critique pour penser qu'il est dispensé de soumettre ses observations et ses hypothèses à la logique de ces vérifications.

Les raisonnements déductifs qui, de la connaissance du milieu naturel nous conduisent à celle des sols, peuvent être jalonnés de contrôles capables d'en révéler l'objectivité et la validité ou, au contraire, d'en déceler les généralisations abusives et les erreurs. Nous allons maintenant voir comment.

Au préalable, nous remarquerons que l'expression « **milieu naturel** » convient parfaitement pour désigner le **cadre** dans lequel nous désirons situer nos études pédologiques. Elle est préférable à celle de « milieu physique », car ce dernier n'est que le **support** des êtres vivants, un **géosystème** par conséquent. Au contraire, le milieu naturel **englobe** les êtres vivants, et bien entendu l'homme, et suivant le niveau d'observation auquel on se place, il est soit un **écosystème**, soit une **juxtaposition ou un emboîtement d'écosystèmes.**

Et, précisément, le contrôle de l'objectivité et de la validité de notre démarche intellectuelle, peut être effectué en soumettant le milieu naturel à la méthode d'auscultation et à la dialectique d'analyse des écosystèmes, c'est-à-dire, en identifiant et en étudiant leurs composantes : les facteurs naturels, leurs conditions d'intervention et leurs interactions, les processus et les modalités de leur déroulement, leurs effets, etc.

Les progrès réalisés ces dernières années en biologie, écologie, géomorphologie et pédologie permettent de dégager une méthode d'étude des écosystèmes et, réciproquement, cette méthode d'étude conduit à une meilleure connaissance des phénomènes biologiques, écologiques, géomorphologiques et pédologiques : il suffit d'orienter la méthode vers un examen plus attentif des phénomènes qui relèvent de chacune de ces disciplines **tout en tenant compte de leurs inter-férences.**

Cette analyse des écosystèmes nous permet d'identifier les éléments du milieu naturel **sur lesquels notre attention doit se porter**, pour procéder au contrôle que nous voulons exercer, et dès que nous possédons ainsi une première connaissance de la structure du milieu naturel, il devient possible de situer les **étapes** de ce contrôle.

Dans le cadre de l'Association Informatique et Biosphère — association à laquelle l'IRAT participe activement — un groupe de travail a recherché pendant un an une « Méthodologie de l'analyse globale des écosystèmes ». Les considérations qui suivent sont empruntées à ses travaux, ou en sont largement inspirées.

Nous rappellerons ici quelques définitions, mais surtout nous chercherons à adapter la démarche au milieu naturel qui constitue le cadre de la pédogenèse, et nous n'indiquerons que **dans leurs grandes lignes** les principes qui peuvent orienter le contrôle de la prospection pédologique.

STRUCTURE DES ECOSYSTEMES ; LES ETAPES DU CONTROLE DE LA PROSPECTION PEDOLOGIQUE

Parmi les définitions de l'écosystème retenues par le groupe de travail précité, il en est une qui nous paraît fort bien convenir : l'écosystème est « **un système évolutif fondé sur l'interaction de facteurs physiques, chimiques, biologiques et humains qui assurent un transfert de matière et d'énergie déterminant des possibilités de vie** ».

Les facteurs sont traditionnellement reconnus comme les **composantes de l'effet** : ils déclenchent et entretiennent des **processus**.

La notion de milieu implique la présence de **conditions**, qui régissent et modulent l'action des facteurs et qui, de ce fait, canalisent les processus et personnalisent les effets. Ceci veut dire que, dans deux milieux où les conditions sont différentes, les effets des mêmes facteurs pourront être semblables ou différents, mais dans le premier cas ils se présenteront avec une « note personnelle » distincte.

Pour répondre à notre besoin de diviser la difficulté, nous découperons le continuum des faits naturels en deux niveaux d'observation que l'on peut appeler, le premier : **milieu de pédogenèse**, le deuxième : **environnement** ou **milieu naturel**.

D'une façon générale, les contrôles porteront sur :

- l'individualisation des deux niveaux d'observation et leur interdépendance ;
- l'inventaire des conditions et des facteurs, l'estimation de leur rôle ;
- les processus suscités et mis en œuvre par les facteurs ;
- le déterminisme des facteurs, des processus et des effets ;
- la modulation des effets par les conditions régnant aux deux niveaux d'observation.

L'exécution de ces contrôles exige quelques explications.

MILIEU DE PEDOGENESE ET MILIEU NATUREL OU ENVIRONNEMENT

Nous commencerons par les deux niveaux d'observation qui sont définis chacun par un **cadre spatial**, déterminé d'une façon relative, et par le **régime** des processus qui s'y déroulent.

a) Voyons d'abord le **milieu de pédogenèse**.

Il constitue l'objectif terminal de notre démarche. Il définira son cadre spatial en disant que le milieu de pédogenèse impose, sur le territoire qu'il occupe, **la production d'une unité taxonomique de sols**. Selon la finesse fixée à la prospec-

tion, cette unité pourra être un type de sol, une séquence, une association géographique de sols, etc. C'est dire que tout en étant délimité, ce cadre spatial ne l'est pas une fois pour toutes, et que le milieu de pédogenèse s'**individualise en fonction de l'unité taxonomique considérée** ; il reste néanmoins chaque fois une **entité pédologique bien définie**.

L'influence des conditions naturelles et les actions, interactions et rétro-actions des facteurs de pédogenèse créent conjointement un ensemble d'impulsions et de contraintes, déclenchent et animent les processus, assurant ainsi la personnalité du milieu de pédogenèse en déterminant à la fois sa **dynamique** et son **régime** ; toutes ces actions sont **endogènes**. De la dynamique résulte la **typologie** du ou des sols produits, alors que le régime instaure un **mode de déroulement** des processus qui est propre au milieu et qui fait que la pédogenèse y est intense ou modérée, rapide ou lente, continue ou par étapes.

En somme, le milieu de pédogenèse est dirigé « à l'amont » par la causalité : les facteurs de pédogenèse qui déclenchent et entretiennent les processus. Il est défini « à l'aval » par un « produit » : une unité taxonomique de sol qui résulte de sa dynamique. Il est gouverné dans son fonctionnement par un régime qui associe les impulsions et les contraintes et impose un équilibre dynamique interfactoriel. Ainsi les caractéristiques fondamentales du milieu de pédogenèse lui viennent au moins autant de la façon dont les processus se déroulent et s'associent que des processus eux-mêmes.

Pour fixer les idées, on peut comparer le milieu de pédogenèse à une pièce de théâtre ou à un orchestre, en accordant bien sûr à ces comparaisons la valeur de schémas. De la pièce de théâtre, le milieu de pédogenèse possède la scène et le décor (cadre spatial), les personnages (facteurs de pédogenèse), ce que l'on appelle « l'interprétation », c'est-à-dire le jeu des acteurs (processus), l'action — ou l'intrigue — de la pièce (dynamique), le déroulement de l'intrigue (évolution), l'ambiance qui fait de la pièce une comédie, une tragédie, un drame, un opéra, etc. (régime), et enfin le dénouement (type de sol produit). Dans un orchestre chaque musicien participe à l'harmonie, comme chaque facteur collabore à la pédogenèse ; nous ne poussons pas plus loin le parallèle, mais il peut l'être.

Ces comparaisons nous donnent une première idée de l'esprit dans lequel peut s'exercer l'analyse du milieu de pédogenèse et par conséquent le contrôle de la prospection : à la manière dont un critique analyse une pièce de théâtre en dégageant les maladresses de l'auteur (inconséquences entre le comportement des personnages et leur caractère, invraisemblances, lenteur de l'action, dénouement déconcertant, etc.). On remarquera que rien ne s'oppose à ce que cette analyse soit conduite en allant de l'ensemble vers

les détails, bien au contraire car, ce faisant, chaque remarque est formulée compte tenu de l'unité de la pièce et de son indispensable cohésion : il en est de même du milieu de pédogenèse.

b) Pour distinguer l'autre niveau d'observation, nous avons deux termes qui sont à peu près synonymes :

— **milieu naturel** dans la conception qu'a de celui-ci la Section de Pédologie de l'IRAT ;

— **environnement**, dans le sens que lui donne la méthode de prise en compte des données proposée par le glossaire d'Informatique et Biosphère (1), car la définition que l'on trouve de ce terme, dans l'avertissement, paraît maintenant dépassée.

Il est possible qu'en raison de leur emploi, de plus en plus fréquent en pédologie, les concepts de « milieu naturel » et « d'environnement » soient révisés, redéfinis et, peut-être, distingués. Pour le moment on peut, sinon les confondre, du moins les assimiler par référence à la démarche intellectuelle qui va de l'étude de l'ensemble à celle des éléments : du milieu naturel, ou de l'environnement, au milieu de pédogenèse et au sol.

Le milieu naturel, comme l'environnement, **entoure** le milieu de pédogenèse et constitue la voie d'accès à celui-ci d'actions **exogènes** et souvent **indirectes**. On peut les définir, l'un comme l'autre, en disant qu'ils représentent le territoire où les conditions naturelles exercent sur la pédogenèse des influences de **même nature** que dans le milieu de pédogenèse, mais qui se répercutent, dans celui-ci, par des actions à distance qui sont transmises, après avoir été transformées, par les facteurs de pédogenèse. Ainsi, dans le domaine des facteurs hydrologiques, des infiltrations dans des affleurements perméables de l'environnement peuvent se traduire par une nappe phréatique dans un milieu de pédogenèse situé en aval.

Le milieu naturel s'individualise ainsi par une dynamique générale, et au niveau des milieux de pédogenèse qu'il englobe, celle-ci se manifeste par des dynamiques particulières résultant d'équilibres interfactoriels **subordonnés**, mais **distincts** : ces milieux de pédogenèse expriment donc **à des degrés divers** la dynamique générale du milieu naturel.

Cependant, le **cadre spatial** du milieu naturel est moins rigoureusement défini que celui du milieu de pédogenèse, d'où l'emploi dans le même sens du terme environnement, qui est équivalent mais évoque davantage l'imprécision des con-

tours. Ainsi le glossaire d'Informatique et Biosphère a distingué six formes d'environnement : climatique, géomorphologique, géologique, végétal, hydrologique et humain. Si nous adoptons ces divisions et si nous les appliquons au cas particulier d'une petite clairière en forêt, l'environnement végétal sera constitué par la forêt alors que l'environnement hydrologique pourra s'étendre jusqu'aux limites du bassin versant qui englobera avec la forêt d'autres formations végétales. En somme, il n'est pas obligatoire que les frontières des différents environnements se superposent exactement.

En outre, milieu naturel ou environnement peuvent être découpés en niveaux d'observation secondaires. Le glossaire d'Informatique et Biosphère a prévu, par exemple dans l'environnement géomorphologique, les quatre niveaux suivants :

- la proximité immédiate du profil ;
- la forme locale du relief ;
- le paysage ;
- la région physiographique.

On peut considérer ces niveaux comme un **emboîtement** d'écosystèmes.

c) L'originalité de la méthode de prospection de l'IRAT réside dans le fait que le pédologue aborde l'étude du milieu naturel avant celle des sols, donc des milieux de pédogenèse (2). Cette démarche se justifie par plusieurs raisons parfaitement logiques, dont nous avons déjà mentionné quelques-unes :

— le pédologue utilise plus facilement ses connaissances de base quand il caractérise le milieu naturel ;

— raisonnant par déduction, il appréhende plus vite le territoire étudié ;

— ses déductions le conduisent plus loin que ne le feraient des observations ponctuelles, car elles sont en mesure de lui révéler des faits mal caractérisés ou peu discernables ;

— grâce à la modulation de la dynamique générale du milieu naturel par les milieux de pédogenèse distincts, le pédologue peut raisonner sur des séquences dont les termes lui fournissent des éléments de comparaison et de *contrôle* (nous y revenons plus bas) ;

— enfin il peut dégager, plus aisément que par le seul examen des profils, les causes qui, sans être de nature proprement pédologique, régissent l'évolution du milieu dans son ensemble et se répercutent indirectement sur la pédogenèse (par exemple : stabilité ou instabilité du milieu).

Dans le même ordre d'idées, j'ai relaté les avantages de la méthode de prospection basée sur une analyse de l'environnement faite à partir des unités **géomorphologiques** pour aboutir à des unités **morphopédologiques**.

Actuellement, dans une optique d'individualisation et d'analyse des écosystèmes, la distinction de ces deux niveaux principaux d'observation nous

(1) INFORMATIQUE ET BIOSPHERE. Glossaire de Pédologie. Description de l'environnement en vue du traitement informatique, 1971.

(2) Nous avons fait le contraire ici pour des raisons de facilité du développement.

offre des possibilités de contrôle de nos cheminement d'idées à plusieurs stades :

- analyse dialectique de l'interdépendance des deux milieux ;
- examen comparatif des termes constituant les séquences de sols, par référence aux variations d'intensité des facteurs de pédogenèse ;
- analyse du fonctionnement du milieu de pédogenèse.

L'effort principal d'analyse porte d'abord sur la **compatibilité** ou l'**incompatibilité** des deux niveaux. On peut trouver dans le milieu de pédogenèse un profil représentatif du milieu naturel, qui en exprime remarquablement la dynamique, le rôle des facteurs de pédogenèse, l'influence des conditions qui règlent l'intervention de ces derniers, etc. Si le milieu de pédogenèse révèle, au contraire, une incompatibilité avec le milieu naturel, il peut être le théâtre de l'intensité inusitée d'un facteur de pédogenèse, et constituer le terme initial ou final d'une séquence, dont on trouvera les autres termes dans les milieux de pédogenèse voisins, inclus dans le même milieu naturel. A l'extrême, il peut être le siège d'une anomalie. Dans tous les cas, l'examen comparatif des deux niveaux fait avancer la prospection et consolide ses conclusions.

LES FACTEURS DE LA PEDOGENESE ET LE DETERMINISME DES PHENOMENES

Avec les facteurs de pédogenèse, nous abordons plus directement la filiation des phénomènes dont les niveaux d'observation précédemment évoqués ont été le support.

C'est une filiation que le déterminisme rend logique, donc explicative :

- les facteurs et les conditions d'intervention des facteurs expliquent les processus ;
- les processus rendent compte du fonctionnement de l'écosystème et expriment sa dynamique ;
- la dynamique explique l'évolution ou l'équilibre de l'écosystème, l'équilibre étant généralement dynamique en raison de l'intervention de processus antagonistes, compensateurs ou régulateurs et de l'entremise de seuils.

La notion de déterminisme doit éclairer tout cet ensemble : toute déviation de la dynamique, provoquée par exemple par une modification de l'intensité d'un facteur, induit une nouvelle évolution, dont on peut **prévoir** l'orientation et le rythme, quand on connaît les règles du déterminisme, les relations de causalité et de filiation des processus. C'est donc **par référence au déterminisme des phénomènes que les contrôles sont possibles à tous les échelons de la séquence.**

Les **facteurs de pédogenèse** interviennent à l'origine de cette séquence. Leur liste est bien connue : elle est devenue traditionnelle. On admet

quatre facteurs principaux : le climat, la végétation, la roche-mère et le temps, auxquels on ajoute le plus souvent, maintenant, le relief. Les autres facteurs sont l'érosion, les conditions hydrologiques et l'homme. On pourra remarquer que le Glossaire de l'Environnement établi par Informatique et Biosphère, l'a été en conformité avec cette liste, mais sans prendre en compte le temps ni l'érosion.

En fait, cette liste est beaucoup trop schématique pour guider l'analyse des facteurs avec la précision requise. Elle est d'ailleurs incomplète, car elle ne permet pas de tenir compte des phénomènes anciens ni de leurs héritages, ni de la faune.

La nécessité d'une liste plus complète apparaît rapidement quand on évoque les interactions et les substitutions de facteurs, qui sont si fréquentes, et dont nous ne citerons qu'un exemple : la nébulosité et les brouillards qui peuvent remplacer partiellement le froid dans la formation d'humus acide de type mor.

Mais cette nécessité s'impose d'autant plus que l'identification des facteurs de pédogenèse, l'appréciation de leur intensité, leur modalité d'intervention, toutes les questions enfin que le pédologue peut et doit se poser au sujet de ces facteurs constituent **sa prise de contact avec le milieu de pédogenèse**. Ces facteurs sont en outre la voie d'accès aux processus. On peut dire d'ailleurs qu'une bonne connaissance des facteurs de pédogenèse, et de leurs modalités d'action, représente la **formation de base du pédologue**.

On peut évidemment améliorer la liste que nous avons donnée précédemment. Par exemple au chapitre climat on peut tenir compte des températures (moyennes, extrêmes, etc.), de la pluviosité et de sa répartition, de l'enneigement, de la nébulosité, du vent, du rythme saisonnier, etc., et faire de même pour les autres facteurs de la pédogenèse. Cet effort a été fait dans le glossaire descriptif de l'environnement réalisé par Informatique et Biosphère, auquel il est conseillé de se reporter.

Mais il faut aller encore plus loin en tenant compte des conditions particulières propres à *chaque type* de milieu de pédogenèse ; nous le constaterons dans la deuxième partie de cet exposé, et l'on voit se dessiner ici la nécessité de listages dont nous aurons ultérieurement une idée plus précise.

LES PROCESSUS

a) On peut donner, des processus qui se déroulent dans tous les écosystèmes, la définition suivante : ce sont des **enchaînements de phénomènes naturels**, se présentant comme des successions d'états, dans le temps ou dans l'espace, reliés entre eux par la **causalité**.

Ils entretiennent le **fonctionnement** des écosystèmes, c'est-à-dire les transferts de matière et d'énergie et déterminent l'**évolution** de ces écosystèmes dans une certaine orientation qui en

définit la **dynamique**. Les processus méritent donc une grande attention, et on peut essayer de les classer ou de les hiérarchiser pour mieux situer et concevoir les contrôles.

Je ne ferai ici que quelques suggestions à ce sujet, pour montrer combien on parvient ainsi à mieux reconnaître les processus dans l'analyse des mécanismes de la pédogenèse.

Il y a quelques années (1968), j'avais proposé une première distinction des processus suivant leur **complexité**.

On peut considérer comme *élémentaires* les processus qui se présentent comme des rouages interchangeables d'un type de pédogenèse à l'autre : tels sont les processus qui provoquent l'altération des silicates, l'accumulation de l'humus, les déplacements de l'argile ou de l'humus, etc.

D'autres processus prennent un caractère *global* : ce sont en réalité des *mécanismes* qui groupent plusieurs processus élémentaires, et qui produisent un type de sol déterminé en provoquant des *effets géochimiques caractéristiques*. Lorsqu'ils engendrent un type de sol, je les ai appelés « *typogéniques* ». Ils expriment la dynamique d'ensemble du milieu de pédogenèse : ce sont par exemple, la podzolisation, la latéritisation, la rubéfaction, l'andolisation, etc.

Il faudrait établir une discrimination entre les **processus élémentaires**. On pourrait la rattacher aux effets qu'ils produisent et distinguer : les processus de création du sol (désagrégation, altération des roches), les processus d'évolution (migrations, accumulations), les processus de destruction du sol (ablation), etc. Mais il faudrait faire également une place à d'autres modalités d'intervention dans la pédogenèse : à des processus de compensation, de régulation ou de freinage, pouvant aller jusqu'à des blocages, et en revanche, à des processus d'accélération ou d'amplification. La difficulté présentée par ces derniers processus réside dans l'imprécision de la démarcation entre le processus lui-même et les conditions de milieu qui modulent l'action des facteurs le déclenchant. Il faut y réfléchir.

Cependant les deux remarques suivantes paraissent avoir leur utilité :

— les processus de création et les processus d'évolution des sols mettent en jeu les phénomènes géochimiques ou biogéochimiques qui caractérisent les processus typogéniques et constituent des critères capables de définir la typologie des sols et de classer ceux-ci : ils doivent par conséquent occuper une place particulière dans une hiérarchie des processus ;

— les processus de régulation, et parfois d'**autorégulation** prennent souvent, de même que les seuils (voir plus bas), une grande importance, car ils sont générateurs d'équilibres dynamiques et maintiennent le régime de la pédogenèse ainsi que l'orientation de sa dynamique : on peut citer

ici le rythme saisonnier comme exemple de facteur déclenchant des processus de régulation ; quand ces processus ne fonctionnent plus ou fonctionnent mal, la dynamique de la pédogenèse se modifie.

b) Nous pourrions donc améliorer considérablement la conception que nous avons des processus de pédogenèse, si nous voulons contrôler parfaitement notre méthode de prospection des terrains. Cependant, nos idées actuelles nous permettent déjà des vérifications satisfaisantes.

Si nous considérons le milieu naturel et le milieu de pédogenèse comme des écosystèmes, le contrôle de leur fonctionnement peut, pour une part importante, être centré sur les processus, notamment sur :

- leur déterminisme, c'est-à-dire l'impulsion qu'ils reçoivent des facteurs de pédogenèse ;
- la modulation de leur efficacité en fonction de l'intensité de ces facteurs ;
- leurs interactions et rétro-actions, qui établissent le régime du milieu ;
- leur enchaînement et leur orientation qui, en entretenant l'évolution ou l'équilibre du milieu définissent sa dynamique.

Une autre forme de contrôle découle de l'**interdisciplinarité de la démarche** et porte sur la **cohérence** des processus. Le pédologue doit constater une conformité entre des séquences de phénomènes distincts par leur nature, par exemple : la proximité d'une nappe (hydrologie), la présence de sols hydromorphes (pédologie) et celle d'une végétation hydrophile (phytosociologie).

Il est à peine besoin de signaler combien ce genre de raisonnement est capable de révéler des faits qui auront pu passer inaperçus, et d'enrichir la prospection.

Généralement, le pédologue procède mentalement à ces contrôles, et parfois même inconsciemment, en descendant des causes aux effets pour déceler l'existence de ceux-ci et apprécier leur intensité en fonction de celle des facteurs de pédogenèse, puis en remontant des effets aux causes pour vérifier cette appréciation des intensités. Mais nous ressentons là encore l'utilité d'un listage de tous ces contrôles, ne serait-ce d'abord que sous la forme d'un schéma, afin de donner à ces cheminements d'idée la rigueur d'une méthode.

LES SEUILS ET LES ACTIONS CATALYTIQUES

Nous abordons là un domaine beaucoup moins familier et sur lequel nos connaissances avanceront surtout avec les progrès de la recherche fondamentale en pédologie, et notamment avec les apports de la pédologie expérimentale.

Il faut cependant prévoir dès maintenant une place à ces phénomènes dans la prospection pédologique, afin de pouvoir éventuellement localiser nos doutes ou nos incompréhensions, car s'il nous est généralement difficile d'identifier des seuils ou des actions catalytiques — et surtout ces dernières — nous pouvons fort bien rencontrer des faits qui nous en suggèrent l'existence. Il est bien évident d'ailleurs que toutes nos opérations de prospection et de contrôle de nos conclusions ne se dérouleront pas sans que nous nous heurtions, de temps à autre, à des faits qui nous laisseront perplexes. Ce serait une faute de les ignorer ; le mépris de ce que l'on ne comprend pas n'est pas une attitude scientifique, et si nous voulons voir la pédologie avancer, nous devons être dans ce domaine les pourvoyeurs de la recherche fondamentale et lui soumettre nos problèmes.

On peut définir un **seuil** comme une valeur d'intensité d'un facteur ou d'un processus pour laquelle un phénomène se déclenche ou s'arrête. A la notion de seuil se rattache celle de limite temporelle ou spatiale.

De nombreux exemples de seuils thermiques peuvent être cités : dans l'évaporation de l'eau de mer, par exemple, le sulfate de calcium précipite sous forme de gypse au-dessous de 66 °C et d'anhydrite au-dessus ; c'est un exemple concret, et défini d'une façon précise.

Depuis quelques années, on est parvenu à déterminer approximativement les seuils thermiques de plusieurs processus pédologiques importants, ces seuils étant représentés par des isothermes annuelles : 15 °C pour la kaolinisation, 20 °C pour la latérisation et la ferruginisation (rubéfaction). Il s'agit là d'une première approche révisible sans doute, mais provisoirement satisfaisante.

Il existe aussi des seuils de pH et de solubilité qui interviennent dans les processus pédologiques : ils ne sont pas toujours très précis ni entièrement connus. Mais d'une façon générale, nous ne pensons pas assez aux phénomènes de seuils et nous oublions sans doute un peu trop que, logiquement, les limites spatiales des milieux de pédogenèse doivent, elles aussi, correspondre à des seuils. Il est donc bien certain que, dans cette optique, la notion de seuil devrait nous conduire à des possibilités plus larges de contrôle.

Il est rarement question de **phénomènes de catalyse** en pédologie ; cependant, si l'on tient compte de la multiplicité et de la variété des processus, il est statistiquement probable que ces phénomènes doivent intervenir dans la pédogenèse comme ils le font dans les autres processus naturels.

On peut rapprocher les actions de catalyse et de seuils, car un effet catalytique peut être défini comme l'intervention d'une condition ou d'un facteur qui provoque un phénomène dans des circonstances où, normalement, il est rendu impossible par un seuil.

Nous avons cité précédemment deux exemples d'effets catalytiques. L'un est prouvé : il s'agit de l'activation des altérations par le rayonnement ultra-violet (POUQUET), l'autre est proposé à titre d'hypothèse : l'intervention du magnétisme dans l'andolisation (GAUCHER).

On doit sans doute attendre beaucoup de la pédologie expérimentale pour déceler et définir les actions catalytiques, et on peut espérer qu'ainsi prendront fin quelques conflits conceptuels portant sur les conditions exactes de certains processus pédogénétiques. On est tout naturellement tenté d'invoquer ici la *rubéfaction*. Nous possédons en effet, un ensemble très cohérent de données géologiques attestant que, depuis les périodes les plus reculées, les formations continentales rubéfiées se sont développées sous des conditions climatiques tropicales et cette information concorde avec le seuil de 20 °C adopté actuellement pour ce phénomène. Par conséquent, si on reconnaît vraiment que ce processus se déroule actuellement sous des climats plus froids, on devrait penser à une action catalytique (1).

Nous avons là un exemple qui nous révèle comment la prospection pédologique peut être relancée et orientée par une connaissance plus approfondie de la pédogenèse et par le souci de contrôler les observations relevées sur le terrain.

Si, malheureusement, nous n'en sommes qu'au stade embryonnaire pour l'utilisation des actions catalytiques dans nos contrôles, nous avons trouvé, par contre, des moyens réellement efficaces dans les autres termes qui nous sont fournis par l'analyse des écosystèmes.

CONSEQUENCES ET CONCLUSIONS

Nous terminerons ces considérations par quelques remarques.

Nous ne pensons pas d'abord que l'on doive s'étonner de nous voir emprunter, à une méthode d'analyse des écosystèmes, des directives pour l'étude du milieu naturel et du milieu de pédogenèse. Il est de plus en plus tenu compte, maintenant, de la part qui revient aux phénomènes pédologiques dans la structure des écosystèmes, tout au moins quand on pratique des méthodes de travail interdisciplinaires (2). En outre, dans le cadre des activités de l'Association Informatique et Biosphère, les pédologues ont résolument, depuis quelques années, lancé des ponts vers les autres composantes du milieu naturel : la géomorphologie, la géologie, la phytosociologie, l'hydrologie. Et, si aujourd'hui ils peuvent s'inspirer d'une méthode d'étude des écosystèmes, ce n'est qu'un juste retour des choses et la conséquence de démarches logiques.

(1) Il est possible, par exemple, qu'en entraînant avec eux les composés du fer quand ils précipitent, les sulfates exercent une action catalytique dans la rubéfaction.

(2) CHIRITA (C.D.), 1974. *Ecopédologie en base de pédologie générale*. Edition Ceres, Bucarest (en roumain).

Un des avantages de notre méthode basée sur la connaissance préalable du milieu naturel réside dans la conception cartésienne qu'elle offre du démontage des mécanismes de la pédogenèse.

Il existe en effet deux façons de démonter un mécanisme. On peut commencer par une extrémité et enlever, au fur et à mesure qu'on les rencontre, les boulons, les vis et les goupilles, etc. Mais on peut aussi le démonter pièce par pièce, et démonter séparément chaque pièce : c'est ce que nous appellerons un démontage cartésien, et c'est à lui que nous conduit l'analyse des écosystèmes en nous amenant à distinguer les niveaux d'observation, les facteurs des phénomènes, les processus, les seuils, etc.

Ce démontage rationnel présente entre autres avantages — et ils sont nombreux — celui de retrouver plus facilement la place des boulons ou des pièces que l'on aurait tendance à oublier quand on reconstitue le mécanisme, c'est-à-dire quand on refait mentalement la synthèse du milieu analysé.

Un autre aspect positif de notre analyse a été de situer quelques points faibles de nos connaissances : les seuils, les actions catalytiques. Mais parfois, il s'agit seulement de phénomènes auxquels nous n'avons pas suffisamment réfléchi, ou tout simplement sur lesquels nous n'avons pas porté notre attention en négligeant la place qu'ils occupent dans le milieu ou leur rôle dans le déroulement des processus. La méthode est donc perfectible, et l'avenir s'annonce très prometteur en ce qui concerne un contrôle serré et dialectique de nos observations de terrain, alors que dans sa forme actuelle elle se révèle déjà parfaitement valable.

Si l'on reproche volontiers aux méthodes d'inspiration déductive de négliger l'analyse des faits observés, il faut tout de même considérer que déduire ne veut pas obligatoirement dire éliminer les raisonnements analytiques et se complaire dans une vue superficielle, parce que trop synthétique ou globale, de faits mal expliqués. Comme l'a dit Lamarck, l'analyse d'un ensemble, quel qu'il soit et en l'occurrence celle d'un écosystème, se fait beaucoup mieux quand la vision globale de cet ensemble révèle une filière, une sorte de fil d'Ariane capable de nous guider dans la complexité des faits. Mais il faut ensuite faire jouer l'esprit d'observation et l'esprit critique pour réaliser l'analyse des phénomènes, puis suggérer et situer les contrôles. Les cheminement d'idée déductifs révèlent les points d'impact sur lesquels doivent se porter en priorité l'attention et l'analyse, ils permettent de les déceler quand ils n'apparaissent pas à première vue. En fin de compte l'analyse des milieux et des processus est bien loin d'être écartée de notre démarche.

Nous sommes également très loin de négliger la morphologie du profil. Celle-ci était autrefois la

clef de voûte de la prospection. Dans notre méthode, la morphologie du profil ne remplace plus le raisonnement, elle est l'aboutissement de nos raisonnements déductifs et le point de départ de nos contrôles quand apparaît une discordance. Nous ne regardons plus le profil comme on le ferait d'un enfant pour dire s'il est beau, mais comme on doit le faire pour dire auquel de ses parents il ressemble. Nous l'examinons donc plus attentivement et nous le décrivons plus soigneusement. Et nous pouvons le faire, car nos raisonnements déductifs nous ont permis de gagner du temps pour parvenir au profil.

Mais en réalité, dans une conception moderne de la prospection pédologique, **le profil a perdu sa prééminence au profit de la séquence**. C'est elle en effet qui nous fournit les bases de comparaison capables de nous indiquer les variations d'intensité des facteurs de pédogenèse et les modulations concomitantes des processus à travers lesquelles nous pouvons saisir la personnalité de chaque milieu de pédogenèse, et aussi les causes et les conditions qui en déterminent les limites et la transition à une autre pédogenèse. La séquence est devenue le **support opérationnel** de notre méthode de prospection.

Grâce à ces dispositions, nous sommes assurés de recueillir des observations plus nombreuses et plus complètes, de les hiérarchiser et de procéder à une sélection des plus importantes, compte tenu de nos objectifs.

Nous avons donc marqué, dans la prospection du terrain, la fin de la phase descriptive de la pédologie et de l'avènement d'une pédologie explicative, c'est-à-dire de la pédologie de l'ingénieur auquel la connaissance des causes est nécessaire pour l'action.

Nous pouvons ainsi conclure que la méthode d'inspiration déductive que nous suivons est, dès maintenant, parfaitement valable et opérationnelle. Elle répond aux exigences imposées à l'ingénieur, et quand un contrôle attentif en surveille l'objectivité et vérifie les conditions et les limites du déterminisme des processus, elle peut conférer aux observations une rigueur qui approche celle des données relevées dans la recherche scientifique.

DEUXIEME PARTIE

ENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR L'EXAMEN
DE QUELQUES MILIEUX DE PEDOGENESE

Cette deuxième partie n'est pas une illustration de la méthode, ni un exemple d'analyse d'un écosystème ; c'est plutôt un complément de notre argumentation et en même temps une tentative pour approcher la conception des listages dont nous avons entraperçu quelquefois la nécessité.

J'ai cherché à montrer en effet que, dans de nombreux cas, la prospection est paralysée ou reste incomplète si le pédologue ne possède pas **une connaissance préalable du milieu naturel** ou, au moins, de quelques-unes de ses caractéristiques cardinales. Nous verrons se dégager ainsi quelques éléments de listage, souvent inattendus bien qu'ils aient la valeur précisément de caractéristiques cardinales.

LES SOLS SALES
ET LES MILIEUX DE SALINISATION

Nous commencerons par les terrains où les processus de salinisation aboutissent à la formation des sols halomorphes.

Il existe sur notre globe quatre types principaux de ces mécanismes, dont les modalités sont régies par l'origine de la salure.

— **La salure marine actuelle** s'exerce par la contamination de terrains non salés à la suite de fortes tempêtes, de raz-de-marée, de la remontée d'une nappe phréatique littorale, ou plus simplement à la suite d'irrigations effectuées avec des eaux pompées dans des estuaires dans lesquels pénètre l'eau de mer. La salure y est du même type que celle de la mer.

— **La salinisation marine ancienne** se manifeste sur les terrains submergés par des transgressions marines quaternaires : souvent la plus récente, la transgression dunkerquienne, qui s'est élevée à 1,50 m ou 2 m au-dessus du niveau actuel, mais aussi la transgression ouljiennaise qui atteignit la cote + 8. Au retrait de la mer, des lagunes se constituèrent, il s'y produisit une concentration des eaux salées et divers phénomènes qui modifièrent la composition originelle du salant marin, des phénomènes de redissolution préférentielle par exemple, et il s'ensuit que la salure n'est plus exactement du type marin.

— **La salinisation géologique ou continentale** reconnaît également comme origine un régime lagunaire, mais celui-ci s'est développé au cours de périodes géologiques anciennes (Trias, Oligocène, Miocène, etc.). Ces dépôts lagunaires ont connu une histoire assez compliquée : ils ont été repris par les mouvements orogéniques, incorporés dans des plissements, etc. Le type de salure n'y est plus celui de la mer,

et la proportion relative des électrolytes peut y être très variée, malgré la prédominance fréquente du chlorure de sodium et du gypse (formations gypso-salines).

— **La salinisation d'origine volcanique** est citée ici pour mémoire. Plusieurs auteurs, dont DEL VILLAR, ont insisté sur quelques phénomènes volcaniques qui mettent en œuvre les chlorures et les sulfates solubles : notamment les fumerolles et les salses. Cependant les sols salés qui sont en rapport avec ces manifestations volcaniques ne sont jamais très étendus.

Nous laisserons à part les sols à carbonates de sodium, et nous parlerons un peu plus loin des sols de mangroves qui sont à la fois acides et salés.

Nous avons donc **quatre types principaux de milieux halomorphes**, et parmi les mécanismes de salinisation qui leur donnent naissance, c'est incontestablement la **salinisation géologique** qui est à l'origine des surfaces salées les plus étendues sur le globe.

C'est aussi ce dernier milieu de pédogenèse halomorphe qui est le plus complexe. Il crée et il entretient un régime de salure qui est étroitement dépendant des conditions géologiques, géomorphologiques et hydrologiques, et qui se traduit par des manifestations d'ordre chimique, floristique et pédologique. Mais les effets de la salure observables en surface ne représentent en général que des aspects très fragmentaires des phénomènes dont les causes sont le plus souvent hors de portée des prospections pédologiques conduites selon la conception traditionnelle.

En réalité, le mécanisme de la salinisation ne peut être séparé de son milieu naturel, et si l'on veut le connaître pour le comprendre dans son ensemble, on doit l'aborder par une pré-étude de ce milieu naturel. Cette approche est facilitée par l'examen de critères dont nous avons établi des listages (1).

Bien qu'ils soient généralement moins complexes, les milieux halomorphes créés par les autres mécanismes de salinisation sont justiciables d'une méthode analogue : d'une façon générale,

(1) GAUCHER (G.), BURDIN (S.). Contribution aux techniques d'amélioration des sols salés. Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. CILF, 1974.

les sols salés ne peuvent être valablement étudiés si on les extrait de leur milieu naturel. Et ceci est encore plus vrai si l'on cherche comment les améliorer, car cette entreprise exige que l'on connaisse l'origine de la salure, sa nature et les processus qui régissent son dynamisme, et ce n'est que par l'étude de l'environnement géologique, géomorphologique et hydrologique que l'on parvient à la compréhension des mécanismes de salinisation de façon telle que l'on puisse agir sur leurs causes.

LES SOLS SULFATES ACIDES, MILIEUX ET PALEOMILIEUX DE MANGROVE

Ces sols ont des propriétés tout à fait spéciales qui sont liées à leur origine. Ils sont sulfatés-acides et se présentent à l'état soit argilo-tourbeux (gyttja) soit argileux et gleyeux (cat clay), ce qui fait qu'ils peuvent être identifiés assez aisément.

Mais il n'en a pas toujours été ainsi, surtout quand il s'est agi des paléosols de mangroves remontant aux transgressions quaternaires. Cette mésaventure m'est arrivée dans la région des Niayes, au Nord de Dakar, en 1962. La pédologie de la région avait déjà été étudiée et les sols cartographiés au 1/50.000. J'ai eu la surprise de déceler des accidents de nutrition, que j'attribuais à un complexe d'acidité en me référant à WALLACE. Je n'ai trouvé la solution du problème qu'en revenant sur les lieux en 1966, quand j'ai rencontré les mêmes sols dans le Delta du Sénégal, où ils portent encore quelques *Avicennia*, témoins de l'ancienne mangrove. Il m'a donc fallu suivre tout le cheminement d'idée qui remonte des effets à la cause, et j'ai pu apprécier combien il était long et aléatoire.

Quand ils ont été exondés, les dépôts et les sols provenant des anciennes mangroves sont à la fois très acides et chargés en sulfate de fer : un échantillon prélevé près de Ross-Bethio, au Sénégal, a donné à l'analyse un pH de 1,9 et une teneur de 10 % en sulfate de fer. Les eaux, qui entrent en contact avec ces formations se chargent de sulfate de fer, auquel s'associent parfois des sulfates de manganèse et d'alumine, et elles contaminent les terrains voisins. En conséquence, ces sols ne doivent pas seulement être étudiés en eux-mêmes, mais comme des composants de l'environnement des sols voisins.

Les formations d'anciennes mangroves sont très répandues sur les littoraux des régions intertropicales. Celles qui sont liées à la transgression dunkerquienne ne dépassent pas la cote + 2, mais il en existe encore qui datent d'une transgression plus ancienne (ouljienne ? inchirienne ?) qui est montée jusqu'à la cote + 8. Dans le delta du Sénégal, ces terrains sont très étendus et sont le théâtre de phénomènes de sulfato-réduction extrêmement défavorables à la culture du riz et difficiles à traiter.

On sait, d'autre part, que les peuplements de palétuviers se sont sensiblement éloignés de leur zone de prédilection actuelle au cours des oscillations climatiques du Quaternaire ; il existe une mangrove relique au Rio-del-Oro.

Par conséquent les conditions du milieu créées par les mangroves anciennes et actuelles occupent au total de très grandes surfaces dans les zones littorales, deltaïques ou d'estuaire des pays intertropicaux, et l'on sait que, là comme ailleurs, ces terrains attirent toujours les agriculteurs. Ces sols commencent maintenant à être connus, mais l'incidence d'une propagation de la toxicité par l'hydrologie de surface passe encore souvent inaperçue.

LES TOURBIERES BOCAGERES

Une tourbière est dite **bocagère** quand elle comporte des arbres. En zone tempérée froide la strate arbustive comprend essentiellement des saules et des bouleaux, en zone tropicale, ces arbres sont souvent des palmiers (genre *Raphia*, *Nipa*, *Mauritia*, etc.) et des dicotylédones spécifiques des terrains marécageux (*Uapaca paludosa*, *Mitragyna ciliata*, etc.).

J'ai fait connaissance avec cette formation, et le milieu de pédogenèse qu'elle engendre, en Côte-d'Ivoire, dans la basse vallée de l'Agneby, où l'on a créé des bananeraies sur ces terrains tourbeux. Comme ceux-ci se trouvent dans la zone littorale et à la cote + 1, je pensais y rencontrer d'anciens sols organiques de mangrove. Effectivement il existe des boues organiques (gyttja) qui ont cette origine, mais comme le milieu est marécageux et réducteur, la formation de sulfates acides n'a pu se produire et on est resté au stade des sulfures : l'hydrogène sulfureux se dégagait en gargouillant bruyamment dans l'eau qui remplissait le trou de la tarière.

Mais en procédant par élimination et comparaison, on pouvait aboutir à la quasi-certitude qu'une autre substance toxique compromettrait la croissance des bananiers. J'ai pensé qu'il s'agissait des eaux de macération des tourbes, qui sont colorées en brun foncé probablement par des tanins, et j'ai pu mettre en évidence sur place leur toxicité en faisant des essais de germination sur des graines de melon : c'est une toxicité rhizostatique ou rhizocide, suivant le degré de concentration de la substance active, mais non inhibitrice.

Cette toxicité est vraisemblablement du même type que celle qui a pu être observée dans les tourbières bocagères des zones tempérées où l'on a constaté des phénomènes bactériostatiques du même type (conservation des cadavres, des tissus, du bois, etc.).

Enfin, on doit pouvoir rattacher ces phénomènes à des substances toxiques que FLAIG a identifiées dans la décomposition de la lignine. Ce sont des

composés tanniques du groupe des phénols et des quinones ; ils exercent un « effet humus », autrement dit ils peuvent jouer un rôle d'activateurs de croissance, pour des concentrations comprises entre 10^{-6} et 10^{-4} moles, mais ils deviennent toxiques pour les concentrations supérieures à 10^{-3} moles. Cette inversion de l'effet avec la concentration rend évidemment très délicate l'appréciation de la toxicité du milieu. Dans les tourbières bocagères, ces substances proviennent vraisemblablement de la décomposition des racines des dicotylédones arborescentes.

LES MILIEUX DE PEDOGENESE HYDROMORPHE

Nous sommes là dans un domaine où la morphologie du profil est remarquablement déficiente, puisqu'elle ne nous oriente pas vers la typologie des sols, en ce sens qu'elle ne nous permet pas de différencier avec rigueur **gley** et **pseudogley**. Naturellement, elle ne nous permet pas, non plus, d'agir sur les causes du phénomène quand nous voulons améliorer les sols.

En effet, du point de vue de leur morphologie, les gleys et les pseudogleys sont semblables : l'association des composés ferreux et ferriques peut aussi bien être réalisée par les alternances humidité-sécheresse dans les pseudogleys, que par les oscillations du niveau phréatique dans les gleys. On objectera que, chez les pseudogleys, on doit remarquer la couche argileuse qui crée l'accumulation superficielle d'eau. Mais cette couche argileuse n'est pas un critère décisif, car quand on se trouve en présence d'une nappe en pression sous une couche argileuse, il arrive que la frange capillaire de la nappe se place dans l'argile et qu'elle y constitue un gley : celui-ci est régulièrement considéré comme un pseudogley si la tranchée n'est pas assez profonde pour montrer la couche aquifère.

Ce cas est morphologiquement analogue à celui des **amphigleys** où l'on constate la présence simultanée d'un pseudogley provoqué par un horizon argileux de surface et celle d'un gley, formé sous cet horizon par les oscillations d'une nappe. Cette disposition est très fréquente dans toutes les zones d'inondation des grands fleuves en régions tropicales, et notamment dans la vallée du Sénégal.

Si l'on passe au traitement des sols hydromorphes, il est bien évident qu'on ne luttera pas contre les effets d'une nappe phréatique de la même façon que contre un plan d'eau superficiel dû à l'accumulation des eaux pluviales : la conception du drainage est fondamentalement distincte dans les deux cas.

Ainsi, aussi bien pour déterminer la véritable typologie des sols que pour s'attaquer aux causes réelles de l'hydromorphie, il faudra examiner, préalablement à la prospection, les conditions hydrologiques de la pédogenèse, ce qui amène inmanquablement à une étude de l'hydrologie superficielle, qui seule peut conduire à une conception adaptée du drainage.

LES FORMATIONS CALCAIRES ASSOCIEES AUX ANDOSOLS

Plusieurs auteurs qui ont étudié les andosols (MOINNEREAU, FERNADEZ et GUERRA, COLMET-DAAGE et al., BERTRAND) ont signalé la présence fréquente, à leur contact, de formations calcaires qui se présentent de diverses façons : ciment de couches de cendres volcaniques, encroûtements interstratifiés entre des couches de cendres ou entre celles-ci et un substratum quelconque (tuf, basalte), « croûtes calcaires » diversement associées aux produits pyroclastiques ou à des basaltes. En rapport avec ces formations, on trouve parfois des sols calcimorphes au contact des andosols. On a quelquefois cherché à établir des rapports pédogénétiques entre les andosols et ces sols calcimorphes.

Je pense que les choses deviennent plus simples si l'on se réfère aux conditions particulières de l'environnement volcanique.

On peut d'abord évoquer l'altération des silicates calcifères par les eaux chargées de gaz carbonique, et la formation subséquente de calcaire. On connaît des affleurements de marnes qui proviennent de l'altération des basaltes, et qui portent des vertisols. On a cité aussi le cas de coulées volcaniques qui ont véhiculé jusqu'en surface des blocs de calcaire vraisemblablement arrachés aux couches traversées par les laves (MOINNEREAU).

Mais il faut surtout prendre en considération les **phénomènes hydrologiques liés au volcanisme**. Les venues d'eaux profondes et parfois thermales, sont fréquentes dans les régions volcaniques. Elles sont souvent riches en bicarbonate de calcium, celui-ci pouvant provenir soit de l'altération des basaltes en profondeur, soit de la dissolution des couches profondes de calcaire. Leurs dépôts calcaires sont donc de **véritables travertins**.

Ces manifestations de l'hydrologie profonde sont considérées comme des phénomènes accompagnateurs des éruptions, elles surviennent généralement après elles, mais sont soumises à leur rythme. Il n'est donc pas étonnant qu'on puisse trouver ces bancs de travertins superposés à des couches de laves ou de cendres, ou interstratifiés dans ces couches. L'origine de ces encroûtements travertineux ne fait aucun doute, par exemple dans les régions d'Oujda et de Melilla au Maroc, où ils sont superposés à des basaltes.

Voilà donc encore un milieu de pédogenèse où l'étude préalable des conditions créées par un environnement volcanique permet d'expliquer l'association, et la localisation dans le paysage, des andosols et des sols calcimorphes formés sur les travertins.

L'ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE ET LES PROBLEMES DE NUTRITION VEGETALE

Avec les deux exemples suivants nous abordons des problèmes de nutrition végétale liés aux composantes géologiques du milieu naturel, et nous entrons donc un peu plus dans les applications de la pédologie qui font notre spécialité.

LES AFFLEUREMENTS PHOSPHATES DE L'AFRIQUE DU NORD

Il est bien connu que les sols de l'Afrique du Nord manquent de phosphore. Peut-être le doivent-ils au fait que le bouclier saharien en manquait aussi, alors qu'il a fourni, au cours des périodes géologiques, les sédiments qui contribuèrent à la constitution de l'Afrique du Nord. Quoi qu'il en soit, seuls dans ce pays sont bien pourvus en phosphore, les sols formés sur des roches volcaniques basiques et ceux qui l'ont été sur les affleurements de l'Eocène inférieur. C'est en effet à cet étage qu'appartiennent les **couches à phosphates**, qui sont largement exploitées au Maroc, en Algérie et en Tunisie. Il arrive que, sans être suffisamment riches pour être exploités, ces affleurements le soient assez pour engendrer, par leur décomposition, des sols très bien pourvus en cet élément. Ces sols peuvent se trouver sur ces affleurements eux-mêmes, ou bien sur des colluvions ou des alluvions qui proviennent du démantèlement de ces roches ou des sols qui s'y étaient formés.

On rencontre donc ainsi, dans un territoire où les sols sont remarquables par leur déficience en phosphore, des sols qui en sont abondamment pourvus. En Algérie, ce phénomène s'observe notamment dans le Nord de Sersou et dans la région de Sétif, dans laquelle d'ailleurs, à la richesse en phosphore s'ajoute celle en potassium, quelques affleurements éocènes contenant aussi des lits de glauconie, minéral dont l'altération libère des composés potassiques. On se trouve donc en présence de terres très riches, dont la fertilité s'explique par l'**environnement géologique**. Nous disons bien environnement parce qu'il ne s'agit pas seulement de sols formés sur la roche en place, mais aussi sur les alluvions ou les colluvions provenant de cette roche.

LA TOXICITE MANGANIQUE DES SOLS DU NIARI

Cet exemple sera le dernier. Il pourra paraître moins démonstratif, car il exige d'être nuancé et, à cette condition, il reste instructif.

Située au Sud de la République du Congo, la vallée du Niari se présente comme une vaste plaine entourée de reliefs. Les sols bénéficièrent d'abord d'une réputation flatteuse de fertilité due probablement au fait qu'ils ont toujours porté de très belles cultures de manioc, et l'on admet généralement que la terre est fertile quand la taille du manioc y dépasse celle d'un homme, ce qui est le cas au Niari.

Cependant, après quelques années de pratique d'une agriculture modernisée, les rendements furent loin d'être ceux que l'on attendait. Il fallut bien reconnaître que la première impression était fautive, et que l'on s'était trompé sur la fertilité des sols. En réalité, ces sols sont très pauvres, acides, et de plus ils montrent souvent une toxicité manganique à laquelle est particulièrement sensible l'arachide, dont la culture avait été très étendue. Cette situation est d'autant plus regrettable que la vallée du Niari devait être une des principales régions de production agricole du Congo.

Pouvait-on prévoir cette toxicité ?

On avait bien remarqué l'acidité des sols, mais si cette condition est nécessaire pour le développement de la toxicité manganique, la présence d'un excès de manganèse est évidemment indispensable. On savait pourtant que les affleurements géologiques de la région avaient révélé une certaine richesse en manganèse et on en exploite d'ailleurs une mine à Makabana, au nord-ouest de la vallée du Niari. On aurait pu parvenir à la présomption d'un enrichissement plus général en manganèse des roches de cette région en constatant que dans les affleurements d'argile, qui bordent la vallée, les enduits de bioxyde de manganèse sont fréquents et abondants.

Mais la corrélation existant entre la richesse en manganèse des roches environnantes et l'excès de cet élément dans les sols n'est pas aussi logique qu'elle le paraît à première vue. En effet, dans les reliefs qui entourent la vallée du Niari, les affleurements de calcaires dolomitiques sont nombreux et puissants, et ils sont parfois enrichis en zinc ; or, dans leur ensemble, les sols de la vallée sont carencés en calcium, magnésium et zinc. Il y a donc là une antinomie entre l'environnement géologique et les réserves de ces métaux dans les sols, alors qu'on constate une concordance entre cet environnement et la toxicité manganique. On peut se demander pourquoi. Une étude plus fine de la disposition des affleurements dolomitiques et des argiles manganésifères sur le pourtour de la plaine, et des sols carencés ou toxiques de celle-ci, révélerait peut-être des relations de localisation ou de filiations qui ont échappé

pé au cours des études de reconnaissance. S'il en était autrement, l'explication devrait être cherchée au niveau des processus, mais quoi qu'il en soit, la question n'est certainement pas posée inutilement. Elle est d'ailleurs du domaine de la recherche fondamentale dont, comme je l'ai dit, nous sommes souvent les pourvoyeurs.

CONCLUSIONS

Les quelques exemples qui viennent d'être relatés sont sans doute suffisants pour montrer comment la connaissance préalable du milieu naturel permet d'orienter la prospection des sols vers des voies d'étude qui répondent plus exactement à ses objectifs. Pour les milieux salés ou envahis par les eaux, les exemples prouvent bien que c'est **l'ensemble** du milieu naturel qui doit être examiné dans l'optique nouvelle d'une pré-étude interdisciplinaire. Les autres exemples ont porté sur des données recueillies au cours de prospections pédologiques, et on remarquera que souvent elles n'apparurent pas dès le premier abord : c'est un problème qui fut primitivement ressenti, et parfois la solution fut apportée par une observation ultérieure, relevée par hasard ; mais le hasard n'est pas régulièrement favorable aux pédologues. Aussi admettra-t-on que, pour ces exemples également, des données aussi importantes devraient être dégagées **par une étude du milieu naturel, elle aussi préalable, interdisciplinaire et approfondie**. Enfin, c'est en raison du domaine de travail propre aux pédologues de l'IRAT qu'ont été choisis ici des exemples relatifs aux pédogenèses tropicales, mais il eut été possible d'illustrer la démonstration au moyen d'exemples fournis par les sols d'autres régions.

Les conditions de travail qui nous sont imposées ne nous permettent pas de faire intervenir dans chaque cas un pédologue qui en soit spécialiste, comme un malade va consulter un médecin spécialiste de son affection, car c'est en somme un problème analogue : il s'agit de confier la solution du cas difficile à quelqu'un qui l'a déjà traité et qui en a l'expérience. Mais cette spécialisation est difficilement conciliable avec la pratique de la prospection pédologique : il est souhaitable qu'un pédologue soit en mesure d'affronter les situations les plus diverses. Il faut donc mettre à sa portée l'expérience de ses devanciers ; et il faut également faciliter la pré-étude pour éviter qu'elle se prolonge exagérément.

Ces considérations nous conduisent à la conclusion suivante : il nous manque d'abord un **inventaire des milieux-types**, milieux naturels et milieux de pédogenèse qu'ils englobent, et ensuite un **catalogue des processus** qui s'y déroulent, et

dont nous devons contrôler sur le terrain la réalité et la cohérence. Les pédologues ont une connaissance plus ou moins consciente des données fondamentales, il suffirait de les expliciter et d'établir des listages qui s'enrichiront des observations nouvelles et deviendront exhaustifs avec le temps. Quelques-uns de nos exemples peuvent montrer comment cet enrichissement peut être réalisé (1).

Naturellement, ce travail devrait avoir été précédé d'une mise au point également exhaustive de la liste des facteurs de pédogenèse et d'une récapitulation des processus.

Voilà donc pour les conclusions qui concernent la deuxième partie de cette note.

Nous devrions faire ici une synthèse des conclusions des deux parties, mais nous jugeons inutile de revenir sur la fiabilité de la méthode que nous avons adoptée (conformité avec les contraintes de travail, légitimité logique renforcée par la possibilité de contrôles déduits de l'analyse des écosystèmes, etc.) : on voudra bien se reporter aux conclusions de la première partie.

Nous voulons pourtant souligner, dans la ligne des idées émises un peu plus haut, l'un des mérites de cette méthode. Outre qu'elle permet d'aller très loin dans les déductions, de procéder à une analyse qui évoque un démontage des milieux étudiés, et de mettre en lumière nos incertitudes et nos ignorances, cette méthode présente l'immense avantage d'être **perfectible** grâce à une prise en compte et à une codification progressive des données nouvellement acquises, comme nous l'avons suggéré.

Sans doute faut-il aussi rappeler que cette nouvelle conception de la prospection pédologique survient à point nommé, et concrétise un tournant de l'histoire de la pédologie. La phase de la contemplation du profil, élevé au rang d'une idée pure platonicienne, est dépassée. C'est sur les **facteurs de la pédogenèse et les processus** que l'attention doit se porter dans une conception explicative de la pédologie : le profil n'est que leur reflet, et il participe à cette nouvelle orientation quand il est, lui aussi, matière à raisonnement, c'est-à-dire quand il devient l'élément d'une séquence.

Enfin, nous avons rassemblé, chemin faisant, les éléments nécessaires pour dessiner la silhouette professionnelle du pédologue spécialisé dans ce genre de prospection : l'étude du terrain orientée vers une mise en valeur agricole. La prospection exige un esprit d'observation très développé et constamment en éveil, ainsi qu'un raisonnement

(1) Ces listages ont été établis pour les milieux de salinisation géologique, voir GAUCHER (G.) et BURDIN (S.), Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés.

d'une rigoureuse logique ; quelles que soient l'étendue de ses connaissances et la valeur de la documentation dont il dispose, le pédologue ne doit pas penser qu'il a été formé une fois pour toutes et qu'il pourra faire face à tous ses problèmes avec un bon manuel.

On l'appelle parfois un « pédologue de terrain », en laissant entendre par là qu'il lui suffit de mettre en pratique les vérités que d'autres ont découvertes dans leur laboratoire ou en méditant sur les concepts et les méthodes de la pédologie. Ce pédologue pourrait être un infirmier alors que les autres seraient les médecins. C'est là une vue de l'esprit.

En réalité, les opérations de terrain exigent, pour être conduites convenablement, que le pédologue

soit parfaitement au courant des progrès de la science qu'il pratique, et de leurs incidences sur ses problèmes quotidiens. Il est bien connu qu'une science appliquée avance au rythme des progrès de la science fondamentale et si, sur le terrain, le pédologue doit faire un choix entre la vérité et l'efficacité, il faut qu'il puisse le faire en pleine connaissance des dernières acquisitions de la vérité.

Mais en revanche, les phénomènes s'observent dans la nature, ils sont donc constamment à la portée du pédologue qui étudie le terrain, aussi n'y a-t-il rien d'étonnant à constater que nombreuses sont les acquisitions de la pédologie qui sont dues aux travaux de ceux qui se forment sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

CHIRITA (C.D.), 1974. — *Ecopédologie en base de pédologie générale*. Edition Ceres, Bucarest (en roumain).

FLAIG (W.), 1965. — Action des produits de dégradation de la lignine sur le métabolisme végétal. Mécanisme possible de cette action. *CR Acad. Agriculture*, n° 17, Paris.

GAUCHER (G.), 1968. — *Traité de pédologie agricole. Tome I : Le sol et ses caractéristiques agronomiques*. Dunod, Paris.

GAUCHER (G.), 1972. — Contribution de la géomorphologie à la prospection pédologique. *Ann. de Géogr.* LXXXI, Paris.

GAUCHER (G.), BURDIN (S.), 1974. — Géographie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. CILF et PUF, Paris.

INFORMATIQUE ET BIOSPHERE, 1969. — *Glossaire de pédologie. Description des horizons en vue du traitement informatique*, Paris.

INFORMATIQUE ET BIOSPHERE, 1971. — *Glossaire de pédologie. Description de l'environnement en vue du traitement informatique*, Paris.

INFORMATIQUE ET BIOSPHERE, 1974. — *Comptes rendus du groupe de travail « Recherche Méthodologique pour l'analyse des écosystèmes »*, non publiés.

KILIAN (J.), 1973. — Relations milieu physique-expérimentation agronomique-aménagement. Sous-comité de corrélation des sols pour l'Afrique de l'Ouest. JOS Nigéria.

KILIAN (J.), 1974. — Etude du milieu physique en vue de son aménagement. Conceptions de travail. Méthodes cartographiques. *Agronomie Tropicale*, n° 2-3, Paris.

TRICART (J.), 1973. — La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. *Ann. de Géogr.* LXXXII, Paris.

TRICART (J.), 1974. — De la géomorphologie à l'étude écographique intégrée. *Agronomie Tropicale*, n° 2-3, Paris.

EDITIONS A. PEDONE

13, rue Soufflot - 75005 PARIS

C. C. P. PARIS 72.31

Publications F. A. O.

- Rapport et perspectives sur les produits 75/76	49,50 F. H.T.
- Capacités de la pâte et du papier 1975-1980	77,50 F. H.T.
- Manuel d'oléotechnie	49,50 F. H.T.
- Annuaire de la santé animale 1975	55,00 F. H.T.
- Bulletin mensuel de statistiques agricoles (Abt 12 n°)	40,00 F. H.T.