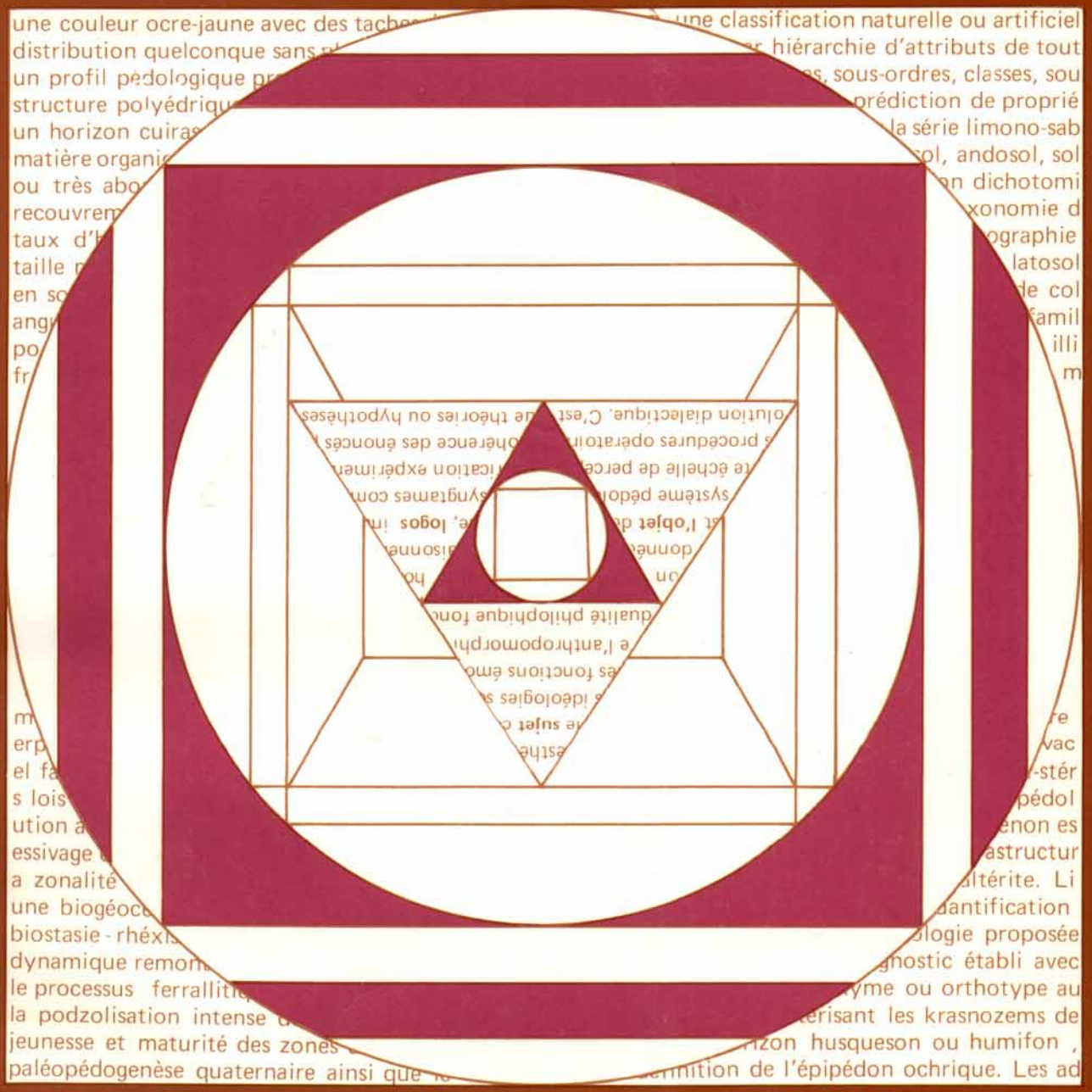


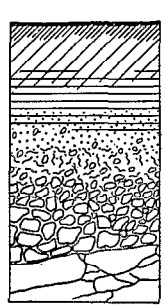
une épistémologie des sciences du sol

yvon chatelin

MÉMOIRES ORSTOM

Y. CHATELIN

UNE ÉPISTÉMOLOGIE DES SCIENCES DU SOL



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER

ORSTOM

ÉDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

RENSEIGNEMENTS, CONDITIONS DE VENTE

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser au :

SERVICE DES PUBLICATIONS DE L'ORSTOM
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY (France)

- Tout paiement sera effectué par chèque bancaire barré ou par C. C. P., au nom du Service des Publications ORSTOM-C.C.P. : 22.272-21 Y PARIS.
- Achat au comptant possible à la bibliothèque de l'ORSTOM, 24, rue Bayard, 75008 PARIS.

I - CAHIERS ORSTOM

BIOLOGIE
ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET PARASITOLOGIE
HYDROBIOLOGIE
HYDROLOGIE
OCÉANOGRAPHIE
PÉDOLOGIE
SCIENCES HUMAINES

séries trimestrielles	Abonnement :	*France*	120 F.	
		Etranger	156 F.	36,30 US dollars
GÉOLOGIE - *série semestrielle*	Abonnement :	*France*	96 F.	
		Etranger	120 F.	28,00 US dollars

II - BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET VÉTÉRINAIRE

12 numéros par an *(15 fascicules)*	Abonnement :	*France*	115 F.	
		Etranger	130 F.	30,25 US dollars

du même auteur,

Dans la collection

INITIATIONS - DOCUMENTATIONS - TECHNIQUES

N° 20 - **LES SOLS FERRALLITIQUES,** *tome I* : **historique, développement des connaissances et formation des concepts actuels,** 1972, 98 p. . . 22 F

N° 24 - **LES SOLS FERRALLITIQUES,** *tome III* : **l'altération,** 1974, 144 p. 60 F

Dans la collection

TRAVAUX et DOCUMENTS de L'ORSTOM

N° 91 - Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides), 1978, 143 p. ..... 30 F

UNE ÉPISTÉMOLOGIE DES SCIENCES DU SOL

Cet ouvrage a fait l'objet d'une thèse présentée à l'Université de Dijon, le 3 décembre 1976, pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences Naturelles.

.....

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » alinéa 1er de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal. »

.....

© O. R. S. T. O. M. 1979

ISBN 2-7099-0507-8

MÉMOIRES O.R.S.T.O.M. N° 88

Yvon CHATELIN

Pédologue de l'O.R.S.T.O.M.
Docteur ès Sciences Naturelles

UNE ÉPISTÉMOLOGIE DES SCIENCES DU SOL

O.R.S.T.O.M.
PARIS
1979

A Christiane

SOMMAIRE

Préface XIII

Avant-propos XV

Avertissement XVII

Chapitre premier. — UNE RECHERCHE ÉPISTÉMOLOGIQUE EST-ELLE JUSTIFIÉE ? 1

1.1 Son origine, ses risques, ses promesses 1
1.2 Les idéologies et la connaissance scientifique 3
1.3 L'exemple des sciences voisines 6
1.4 Les débuts de l'épistémologie dans les sciences du sol 8
1.5 Les points de départ du présent travail 11
1.6 Une analyse, et un projet 13

Chapitre deux. — SITUATION DE LA SCIENCE DU SOL 17

2.1 Entre réalisme et nominalisme 17
21.1 Les deux options 17
21.2 L'esprit réaliste 18
21.3 La position nominaliste 21
21.4 Dernières remarques 23
2.2 La science du sol dans son histoire 23
22.1 Les points de départ 24
22.2 La pensée génétique 27
2.3 Les nouvelles approches 32

Chapitre trois. — LA MÉTHODE 35

3.1 Les pratiques opératoires 36
31.1 La recherche comparative 37
31.2 Les successions 40
31.3 Les formes organisées et les indicateurs 42
31.4 Les bilans 45
31.5 La dynamique actuelle 47
31.6 L'expérimentation 49
31.7 Conclusion 49
3.2 Les corps naturels et les processus pédologiques 50
3.3 Des systèmes d'ordre inférieur aux systèmes d'ordre supérieur 51

Chapitre quatre. — LE RAISONNEMENT 55

4.1 Le syntagme du raisonnement 57
41.1 Paradigme et syntagme 57
41.2 Syntagmes homogènes 58
41.3 Syntagmes complexes 60

4.2 Le statut de l'hypothèse 64

4.3 L'analyse épistémologique 66
43.1 Les moyens de l'analyse 67
43.2 Le décryptage 69
43.3 Les circuits de dérivation 72
43.4 L'effet de système 76
43.5 Les raisonnements circulaires 78

Chapitre cinq. — LE LANGAGE — EXAMEN DU LEXIQUE 79

5.1 L'analyse lexicale proposée 80

5.2 Recherche du vocabulaire de base 83
52.1 Le Dictionnaire des sols de G. Plaisance et A. Cailleux 83
52.2 Le Vocabulaire multilingue de la science du sol 87

5.3 Les groupes lexicaux spécialisés 90
53.1 Les groupes d'emprunt 90
53.2 La description élémentaire 91
53.3 Notations A, B, C et autres symboles 94
53.4 La typologie générale 96
53.5 Le lexique micromorphologique 99
53.6 Groupes lexicaux divers 101

5.4 Conclusion 101

Chapitre six. — LE LANGAGE (suite) — PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE 103

6.1 Examen d'un texte particulier 104

6.2 Un vocabulaire d'accompagnement anthropo-logique et causaliste 106
62.1 A propos des mouvements de matière 107
62.2 Les expressions de l'anthropocentrisme 108
62.3 Conclusion 108

6.3 La fonction émotionnelle et esthétisante 110

6.4 La dynamique du langage 112
64.1 Synonymie, polysémie et vieillissement 112
64.2 La néologie 115
64.3 Les définitions 117
64.4 Conclusion 119

6.5 La classification, langage de substitution 119

Chapitre sept. — UNE NOUVELLE DUALITÉ ÉPISTÉMOLOGIQUE 123

7.1 La pédologie, science dialectique 123
71.1 Affirmation de principe 123
71.2 La dialectique dans une science de la nature 124
71.3 Une première illustration 126
71.4 Une pédologie dialectique plus avancée 128
71.5 Conclusion 131

7.2 Retour vers le problème général de la connaissance 131

7.3 La pédologie, science axiomatico-structurale 133
73.1 Formalisation à la naissance de la science 133
73.2 Formalisation de l'espace pédologique 135
73.3 Formalisation du temps pédologique 136
73.4 Les systèmes et leurs modèles 137
73.5 Conclusion 139

Conclusion 141

Bibliographie 145

Index thématique 149

PRÉFACE

Yvon CHATELIN, pédologue de l'ORSTOM, qui a œuvré essentiellement en Afrique tropicale humide, a soumis à l'appréciation de notre jury (*) un travail de réflexion sur l'épistémologie des Sciences du Sol, document assez inhabituel pour la soutenance d'une thèse de Doctorat ès Sciences qui repose traditionnellement sur une base expérimentale. Nous pouvons de surcroît nous étonner qu'une réflexion épistémologique naisse uniquement de l'étude des sols tropicaux. Mais peut-être est-ce là qu'elle était le plus nécessaire. Les Sciences du Sol se développent depuis un siècle à un rythme accéléré. Les recherches se sont multipliées en suivant des voies différentes. Des écoles se sont constituées, avec autant de langages et de systèmes de classification.

Si l'on considère les pays tempérés et méditerranéens, la couverture pédologique y est très variée, les connaissances scientifiques y sont avancées, basées souvent sur de bonnes études du quaternaire ; les écoles scientifiques (URSS, USA, Européens) y sont toutes présentes, et la classification francaise est fortement imprégnée de leurs différents travaux.

Dans les pays intertropicaux humides où s'étalent très largement sols ferrallitiques et sols ferrugineux tropicaux, la couverture pédologique est souvent monotone, les travaux scientifiques de base sont plus incertains, sauf pour le support minéral et la géochimie où la contribution ORSTOM est essentielle, mais les pédologues francais ont été relativement isolés, et ils ont dû faire en matière de classification une œuvre totalement originale.

En quelque sorte, dans le domaine ferrallitique, les pédologues se sont trouvés face à eux-mêmes, face à des concepts qui leur appartiennent en propre. Aussi, après trente années de travaux ORSTOM dans le monde intertropical, un besoin vif de réflexion épistémologique s'imposait. Nous remercions Y. CHATELIN d'en avoir été l'initiateur et l'animateur. Sa maturité scientifique et philosophique, son sens critique très aigu de nos méthodes, de notre langage, de nos concepts, l'ont déjà conduit à formuler des propositions importantes de réforme.

Les perspectives ainsi ouvertes sont certainement neuves pour la plupart des pédologues. Aux spécialistes de l'épistémologie, elles permettront un regard dans des sciences difficilement accessibles parce que récentes et pourtant déjà encombrées de données. Mais il est peu probable que l'on voit apparaître un autre ouvrage comparable car les pédologues sont encore peu motivés en ce sens. Quant aux philosophes, ils ne semblent pas avoir une connaissance suffisante du domaine considéré.

(*) Ce jury réunissait H. TINTANT et N. LENEUF, Professeurs à l'Institut des Sciences de la Terre de l'Université de Dijon, M^me^ J. PARAIN-VIAL, Professeur à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de la même université, J. BOULAINE, Professeur à l'Institut National Agronomique, J. TRICHET, Professeur à l'Université d'Orléans. La soutenance a eu lieu à Dijon le 3 décembre 1976.

L'auteur justifie sa démarche en rappelant que toute science est assujettie à une épistémè qui lui est propre, et en rappelant la place prise par l'épistémologie dans beaucoup de secteurs scientifiques contemporains. Il situe la science du sol dans son histoire, par rapport aux deux notions fondamentales du « réalisme » et du « nominalisme », et en relation avec les lignes de force des sciences de notre temps. La « pensée génétique » qui domine la pédologie générale apparaît ainsi relativisée, au lieu de s'imposer comme une nécessité.

Un travail de clarification s'imposait à propos des méthodes pédologiques. Recherches comparatives, analyses de successions spatiales, étude des organisations, évaluation des bilans, approche des dynamiques actuelles, représentent autant de « pratiques opératoires » très différentes les unes des autres, par leurs champs d'application, par leurs degrés de fiabilité.

L'analyse épistémologique se poursuit au niveau du raisonnement qui s'établit sur des données entièrement contrôlées, ou qui incorpore des faits transposés, des hypothèses ou des théories. La science du sol constitue un système complexe dont les points de départ ne sont pas toujours très bien identifiés et dans lequel il peut être difficile d'éviter les raisonnements circulaires.

Les caractères principaux du lexique pédologique sont mis en évidence par des relevés et des comptages systématiques. L'adaptation du lexique à des objets spécifiques ne peut être obtenue que par la spécialisation d'un vocabulaire primitivement ubiquiste, par des emprunts vernaculaires, ou par la création de néologismes savants. Les vocables scientifiques doivent être choisis en fonction de leur neutralité épistémologique. Or nombreuses sont les publications qui utilisent au contraire un langage rempli de présupposés. Le lexique a pour premier rôle de servir de canevas de formalisation pour l'observation, mais il n'est pas non plus sans influer sur la rigueur de la pensée.

En accord avec l'épistémologie contemporaine générale, les perspectives nouvelles de la science du sol seront d'une part « dialectiques » en étoffant la pensée génétique par une méthodologie plus apte à la saisie des totalités et par la mise en évidence des discontinuités dans les processus naturels, d'autre part « axiomatiques et structurales » en stimulant le mouvement de la connaissance par de nouveaux traitements de l'information, par le développement et le renouvellement des formalisations.

Que peut-on attendre de ces réflexions de Y. CHATELIN ? Je pense que leur première ambition est d'aviver le sens critique des chercheurs. En deuxième lieu, l'épistémologie doit constituer pour les travailleurs scientifiques un fond culturel nouveau. Il aura fallu pour cela accomplir une démarche que je qualifierai de « transdisciplinaire ». Elle n'a pas tenté d'établir une somme multidisciplinaire, mais s'est développée pour atteindre son objectif à travers la philosophie, la linguistique, l'histoire des sciences, en constituant ses propres outils. Je suis persuadé que cette transdisciplinarité s'affirmera, l'exemple proposé pour l'étude des sols servant à son tour à d'autres domaines scientifiques.

Y. CHATELIN a fait une œuvre positive qui ouvre de nouvelles voies, ceci tout d'abord pour la réussite et la finalité des Sciences du Sol.

N. LENEUF.

AVANT-PROPOS

Les recherches présentées ici se proposent de donner une nouvelle vision des sciences du sol, et de contribuer ainsi efficacement à leur progrès. Sans doute sont-elles l'aboutissement d'un travail et d'une réflexion individuels, poursuivis au cours d'une carrière déja longue. Avec leur caractère largement interdisciplinaire, je voudrais aussi rappeler quelles conditions ou quelles circonstances les ont rendues possibles. La bibliographie donnée en fin d'ouvrage permettra d'identifier les sources générales d'inspiration puisées dans l'épistémologie contemporaine. Ce sont les structures et les rencontres plus immédiates, sans lequel cet ouvrage n'aurait pas vu le jour tel qu'il est, que je mentionnerai maintenant. Au-delà de la banalité de mots conventionnels de remerciements, j'aurai plaisir à reconnaître ainsi mes véritables dettes.

Les structures de travail dont j'ai bénéficié sont celles créées par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. En premier lieu, cet organisme représente pour un spécialiste des sols la possibilité de couvrir dans le milieu inter-tropical un terrain considérablement étendu. L'objectif de l'ORSTOM est de conduire dans ce milieu des recherches fondamentales orientées vers le développement. Au long de ma carrière, j'ai eu à mener des travaux de recherches, des tâches appliquées, des fonctions administratives. Le Professeur G. Camus et M. J. Séverac, Directeur Général et Directeur Général Adjoint de l'Office, se sont efforcés d'équilibrer ces différentes activités. Ils m'ont laissé la possibilité de poursuivre des réflexions apparemment très abstraites, devinant sans doute qu'elles feraient retour vers la méthodologie de travaux beaucoup plus appliqués. S'intégrant à des travaux scientifiques typiques, l'épistémologie fait actuellement une apparition explicite à l'ORSTOM. C'est que l'on y fait confiance à la fois aux hommes, et à la recherche fondamentale.

Mes travaux s'inscrivent parmi ceux de l'École Française de Pédologie Tropicale. A la base de cette école scientifique se trouvent les orientations données par le Professeur G. Aubert. Les sols que j'ai étudiés sont des sols ferrallitiques, que l'on dénommait autrefois latéritiques. Ils ont reçu de G. Aubert, dès 1954, leur première définition générale, avant de figurer quelques années plus tard en tant que Classe dans la classification générale des sols. D'une approximation à l'autre, cette classification remodelée en permanence par G. Aubert a joué un rôle essentiel de mise au point, et de guide de la recherche. L'œuvre de M. P. Ségalen constitue également une pièce maîtresse dans l'édifice des connaissances réunies sur les sols ferrallitiques. Géochimiste, géographe et classificateur des sols, géomorphologue, écrivain, P. Ségalen a été longtemps pour moi un Directeur Scientifique, au sens le plus plein de ce terme.

L'histoire des recherches contemporaines sur la ferrallitisation, si elle doit être un jour écrite, retiendra sans doute les travaux de N. Leneuf pour deux de leurs aspects principaux. En reliant les processus de l'altération aux pédoclimats, ces travaux ont tout d'abord imposé la notion de milieu d'évolution. Ceci a rendu caduque l'idée d'une altération ferrallitique originale ou unique, et a ouvert la voie à des études sur les toposéquences qui, par la suite, se sont multipliées. N. Leneuf a été aussi le premier à évaluer la vitesse d'une évolution pédogénétique par le bilan des éléments solubilisés et exportés par les eaux de drainage. C'est devenu maintenant méthode courante : les études de dynamique actuelle doublent celles de la pédologie statique. L'examen de la littérature m'a appris tout cela. Mais ce n'est que récemment que j'ai fait la rencontre personnelle du Professeur N. Leneuf. J'ai trouvé en lui un interlocuteur ouvert à

toutes les réflexions. Saisissant la portée d'une épistémologie qui veut se développer au sein même de la science, d'emblée il s'est intéressé à mes recherches sur la méthode, les raisonnements, le langage de la pédologie.

Dans cette discipline récente par rapport aux autres sciences de la nature, les ouvrages de réflexion et de large synthèse sont encore rares. J. Boulaine nous en a donné pourtant quelques-uns, publiés par de grandes maisons d'édition. J'y ai trouvé, ainsi que dans des articles du même auteur parus dans des revues spécialisées, des incitations répétées à une entreprise méthodologique et épistémologique. J. Boulaine tente d'engager la pédologie dans une problématique originale. Privilégiant une vision dynamique, cette problématique fait appel au temps pédologique considéré à toutes les échelles, et réclame de nouveaux moyens d'expression. Le Professeur J. Boulaine s'est trouvé mêlé à mon travail, d'abord par les thèmes de réflexion qu'il avait proposés, comme critique lucide et constructif ensuite. Ce sont des travaux sur la géochimie des altérations et des sols qui ont fait connaître J. Trichet, Professeur à l'Université d'Orléans. Ses orientations actuelles dépassent largement ce premier cadre. Cette fois encore, l'intérêt porté à la recherche épistémologique, par un spécialiste des sols, homme de laboratoire et de terrain, paraît significatif de l'avenir.

Ce sont donc trois pédologues, N. Leneuf, J. Boulaine, J. Trichet, qui les premiers m'ont amené à valoriser mes recherches dans un doctorat ès sciences. L'Université est parfois accusée de favoriser les cloisonnements, et par là de freiner les entreprises interdisciplinaires. C'est une attitude opposée que j'ai rencontrée à l'Université de Dijon. Paléontologue par ses premières recherches et par son enseignement, le Professeur H. Tintant est aussi un spécialiste de l'histoire et de la philosophie des sciences. Il a retrouvé dans le texte que je lui ai soumis des démarches pour lui depuis longtemps familières. Directeur de l'Institut des Sciences de la Terre, le Professeur P. Rat soutient ces entreprises. Sciences, histoire, linguistique, philosophie, la rencontre de toutes ces disciplines est favorisée à l'Université de Dijon, par la personnalité de M^me^ J. Parain-Vial. Professeur à la Faculté des Lettres et Philosophie, elle est connue autant pour son œuvre épistémologique que pour ses réflexions phénoménologiques. C'est avec facilité que M^me^ Parain-Vial a pénétré le texte qui suit, pour mettre immédiatement en évidence ce qui pourrait relancer certains débats philosophiques fondamentaux.

Voilà mon travail situé par rapport aux personnalités, bien différentes les unes des autres, qui ont été les premières à l'accueillir. Il me reste à souhaiter susciter le même intérêt parmi un public varié, réunissant les spécialistes de l'épistémologie et ceux des sciences de la Terre.

AVERTISSEMENT

L'Auteur s'adresse en premier lieu à des spécialistes des sols. Mais il espère aussi être lu par certains philosophes ou épistémologues, qui n'ont pas de connaissances particulières en pédologie. Ne pouvant définir tous les concepts scientifiques qu'il utilise, l'A. propose à cette deuxième catégorie de lecteurs trois ouvrages susceptibles de leur apporter les notions de base qui leur font défaut :

— de G. AUBERT et J. BOULAINE - « La pédologie », publié en 1967 dans la collection « Que sais-je ? », n° 352.
— de J. BOULAINE - « Géographie des sols », publié en 1975 par les Presses Universitaires de France.
— de P. DUCHAUFOUR - « Précis de pédologie », réédité pour la troisième fois en 1970 par Masson.

Les références bibliographiques seront classées comme suit. Celles qui ont simplement fourni des exemples destinés à illustrer les propos de l'A. seront mentionnées dans des notes infrapaginales. Les publications à l'origine de notions fondamentales pour la compréhension du présent ouvrage, ou qui peuvent conduire le lecteur à des réflexions épistémologiques approfondies, apparaîtront numérotées dans le texte. Une liste bibliographique classique, reproduisant cette numérotation, sera placée en fin d'ouvrage.

Avant de s'aventurer dans un texte qui va lui prendre plusieurs heures d'un temps précieux, pour l'intéresser peut-être, ou le laisser indifférent et voire même hostile, le lecteur doit souhaiter avec juste raison que l'auteur précise rapidement ses intentions et son programme. Aussi commencerons-nous cet ouvrage par quelques commentaires sur le titre que nous pourrions lui donner.

CONTRIBUTION... *ou* INTRODUCTION... *à une* ÉPISTÉMOLOGIE... *des* SCIENCES DU SOL.

Le travail qui va suivre ne doit être considéré que comme une « Contribution » *très partielle, sinon comme une simple* « Introduction », *à une entreprise pour laquelle il est déjà possible de prévoir de vastes développements. Il s'agit tout d'abord pour nous d'amener certains spécialistes des sciences du sol qui n'en ont pas encore eu l'occasion, à s'intéresser aux analyses et aux réflexions qui constituent ce que l'on dénomme* « l'Épistémologie ». *Bien des livres pourraient remplir ce rôle d'initiation que nous revendiquons, s'ils n'avaient l'inconvénient de traiter de faits lointains pour les lecteurs à qui nous nous adressons. Cet éloignement peut s'inscrire dans le temps, c'est le cas des nombreuses études publiées à propos des époques passées. Il peut aussi se situer dans l'espace scientifique contemporain, si les disciplines considérées sont par exemple les mathématiques ou la biologie. Nous chercherons au contraire à placer nos discussions au plus près des sciences du sol, jusque dans leurs pratiques tout à fait actuelles. Il nous faudra ensuite dépasser ce premier rôle pédagogique, en préparant, en « introduisant » des démarches nouvelles. Il existe sans doute une épistémologie des sciences du sol déjà ébauchée, dont certaines conclusions pourront être reprises. Pourtant, c'est surtout à une épistémologie naissante que nous invitons nos lecteurs. Souhaitons qu'elle rejoigne ces « courants vivants de l'épistémologie contemporaine (qui) font aujourd'hui corps avec les Sciences elles-mêmes » (76). Notre titre fait référence, dans son dernier terme, aux* « Sciences du Sol ». *En fait il sera surtout question de pédologie, et plus précisément de pédologie tropicale. En retenant une énonciation volontairement élargie, nous avons voulu marquer que toute science du sol correspond typiquement à ce que l'on dénomme un « carrefour » (21) ou convergent techniques et théories de nombreuses origines. Dans une référence trop exclusive aux sols tropicaux, il ne faudra voir qu'une limitation fixée par l'expérience personnelle de l'auteur, qui n'interdit pas de songer à un champ épistémologique plus vaste.*

Chapitre premier

UNE RECHERCHE ÉPISTÉMOLOGIQUE EST-ELLE JUSTIFIÉE ?

Beaucoup de scientifiques vraisemblablement se posent encore cette question. Ils peuvent considérer avec réticence, sinon avec ironie, une prétendue recherche leur apparaissant comme le stérile substitut de vagues prétentions philosophiques. Pour sortir des pratiques habituelles de leur « science normale » (60), ils voudront sans doute être assurés de ne pas entreprendre un effort gratuit. Aussi commencerons-nous par leur proposer quelques motivations d'ordre très général. Ce premier chapitre cherchera à donner *une justification préalable* à la suite de notre démarche.

SON ORIGINE, SES RISQUES, SES PROMESSES

Depuis l'Antiquité grecque, le problème général de la connaissance est traditionnellement abordé par la Philosophie, dont la méthode est essentiellement réflexive (*). Beaucoup de scientifiques s'accorderont probablement avec B. RUSSELL (83) pour proclamer que « ... plus que toute autre branche du savoir, la philosophie a eu le plus d'ambition et atteint le moins de résultat ». La polémique de RUSSELL est brutale. Un jugement plus nuancé reconnaîtrait bien vite que la philosophie n'est pas sans influer sur la vie des sociétés et sur le fonctionnement des sciences. Mais ce n'est pas tout. Ce qu'il faut souligner pour la suite de notre propos, c'est que le problème de la connaissance, surtout lorsqu'il s'agit de connaissance scientifique, peut s'envisager suivant de nouvelles approches. C'est là l'œuvre de l'épistémologie, nouvelle discipline qui prend ses distances par rapport à la philosophie. Ceci n'interdit pas à l'épistémologie de reconnaître que l'un de ses points de départ se situe dans le courant de la « philosophie des sciences ». Un second point d'attache provient de la mise au jour, par l'épistémologie, d'idées philosophiques occultes mais restées vivantes dans les esprits des scientifiques eux-mêmes. Ces liens naturels sont renforcés par l'Université, qui place les épistémologues dans les Facultés des Lettres. Malgré cela, *la véritable épistémologie contemporaine se définit elle-même comme la critique des sciences*. R. BLANCHÉ (12) situe sa naissance au milieu du XIX^e^ siècle, avec les travaux presque simultanés de B. BOLZANO sur les sciences logiques et mathématiques et de W. WHEWELL

(*) Dans le langage philosophique, le mot réflexif réunit le sens d'une réflexion et celui d'un retour de la pensée sur elle-même. « La conscience réflexive pose la conscience réfléchie comme son objet ». J.-P. SARTRE, l'Être et le Néant.

sur les sciences expérimentales. Un passé plus proche fait ressortir les noms de A. KOYRÉ (59) pour les méthodes historico-critiques et surtout de G. BACHELARD (4), initiateur incontesté du courant actuel de l'épistémologie française. En se développant, l'épistémologie se spécialise, se régionalise. C'est évidemment à une épistémologie régionale, limitée aux sciences du sol, que nous voulons parvenir ici, bien que nous allions faire quelques détours pour préparer notre sujet.

Le mouvement qui conduit l'épistémologie à s'éloigner de la philosophie et à s'intégrer aux sciences n'apparaît pas nécessairement à tous comme une recommandation suffisante. Ne peut-on en effet prétendre que les sciences se suffisent parfaitement à elles-mêmes, leur validité et leur capacité de renouvellement étant garanties par plusieurs siècles de fonctionnement et par d'éclatants succès ? Souvent formulée (96), cette objection condamnerait l'épistémologie pour sa stérilité supposée. Nous risquerons ici une comparaison. Pour s'exprimer, et même pour fort bien s'exprimer, l'humanité n'a pas attendu de compter dans ses rangs des linguistes, ni même leurs prédécesseurs plus modestes les grammairiens. Un pionnier de la linguistique, E. SAPIR (85), a pu se plaindre de la tendance de ses contemporains à « repousser les notions linguistiques comme de pédantes facéties particulières à des cerveaux totalement oisifs ». Cette remarque désabusée était possible au début de ce siècle, mais ne le serait plus maintenant. La linguistique a surabondamment prouvé son intérêt, encore que l'on puisse répéter que les langues sont nées et ont évolué sans elle. Au demeurant, le postulat de stérilité ne peut être longtemps soutenu. Comment affirmer *a priori* l'inutilité de recherches à peine commencées, comment prétendre que la science ne se transformera pas si elle parvient à se connaître avec plus de lucidité ? De nombreux scientifiques, et non des moindres (14, 48, 56, 69) sont venus d'eux-mêmes à l'épistémologie, lui apportant des garanties de compétence, d'objectivité, d'efficacité. Tout ceci peut donner à notre entreprise une justification de principe, mais ne lui évitera pas de rencontrer bien des embûches. Les concepts que l'on transpose d'un domaine à l'autre perdent généralement de leur acuité. Un exemple, que nous choisirons dans un domaine familier à nos lecteurs, suffira à illustrer ce phénomène. Pour expliquer des processus géochimiques d'altération ou de diagenèse, il suffit d'employer un schéma de l'atome qui n'est qu'une copie simplifiée ou même déformée du modèle atomique ayant cours dans les laboratoires de physique. La considération du rayon ionique, de l'échelle d'électronégativité, et de quelques autres critères simples, satisfait le géochimiste. Le sodium, le calcium, et tous les autres éléments, ne répondent pas aux mêmes images chez un physicien, un chimiste, un pédologue. Cet affaiblissement des concepts transposés est ressenti à tous les carrefours scientifiques. Déjà sensible dans la science du sol elle-même, lorsque les concepts transposés proviennent de sciences de la nature voisine, il le sera encore plus dans une démarche épistémologique qui ne pourra éviter la réminiscence de notions très générales, parfois de caractère philosophique. En raison de la nécessité où nous serons d'effectuer certaines transpositions, *nous devrons accepter des simplifications* que certains pourront prendre pour des naïvetés, apparentes ou réelles.

Avant de franchir le seuil de notre travail, nous essaierons de convaincre le lecteur, toujours supposé réticent, des promesses de l'épistémologie. De temps à autre, le nom de J. S. MILL est apparu dans des publications pédologiques (24). C'est presque le seul auteur dont l'autorité sur le plan de la méthodologie générale ait été invoquée pour justifier une démarche scientifique particulière. Sans grand effort, n'importe quel spécialiste des sciences du sol pourrait aussi faire appel à F. BACON et Cl. BERNARD pour les principes des sciences expérimentales, à R. DESCARTES pour la méthodologie générale. Mais si les références en matière de théorie des sciences doivent s'arrêter là, elles sont un peu courtes, et il n'y a pas à s'étonner du refus de certains de sortir des pratiques strictement scientifiques. La pensée scientifique n'aurait-elle pas trouvé de nouveaux fondements, trois siècles et demi après DESCARTES et

BACON, plus d'un siècle après MILL et BERNARD ? Le cas de Cl. BERNARD (7) est particulièrement intéressant à considérer. En définissant la méthode hypothético-déductive des sciences expérimentales, en codifiant les étapes de l'observation, de l'hypothèse, de la vérification, Cl. BERNARD a certainement exercé une influence considérable (*). Ces pratiques sont devenues tellement courantes qu'il est complètement inutile maintenant de les présenter à des scientifiques. Mais s'il existe actuellement *de nouvelles réflexions méthodologiques*, peut-être potentiellement aussi fructueuses que celles de Cl. BERNARD en leur temps, il serait inadmissible de les ignorer. L'épistémologie a une vision nécessairement large, elle est particulièrement bien placée pour mettre en correspondance des secteurs scientifiques différents, pour diffuser des méthodes. Ne pouvant nous étendre beaucoup à ce sujet, nous inviterons seulement le lecteur à un peu de réflexion sur un exemple facile que nous apporte la citation suivante : « ... ensembles, relations d'ordre, graphes, espaces de configuration, schémas probabilistes et stochastiques, semblent bien offrir des ressources inédites pour la description abstraite opératoire des faits d'organisation, aussi bien structuraux que dynamiques ». A qui s'adresse cette invitation donnée par un épistémologue (67) ? Les sciences du sol ne sont-elles pas encombrées de données structurales et dynamiques difficiles à traiter ? Ne pourraient-elles employer ces ressources inédites de traitement dont il vient d'être question ? En réalité, il se trouve que la précédente citation se destinait à des biologistes, mais il est clair que son message pourrait être reçu par un auditoire beaucoup plus vaste.

L'épistémologie ne se contente pas de faire circuler ainsi des concepts, ou des méthodes, d'un secteur scientifique à l'autre. Elle a aussi, et peut-être même surtout, à jouer un rôle de critique des pratiques scientifiques. Nous aurons l'occasion de revenir souvent sur cette forme d'épistémologie interne des sciences.

LES IDÉOLOGIES ET LA CONNAISSANCE SCIENTIFIQUE

Il existe de bonnes raisons de penser que les sciences sont moins indépendantes qu'elles ne voudraient l'être, et que leur objectivité n'est pas dénuée de contingence. L'histoire nous rapporte des circonstances où les convictions religieuses ou métaphysiques de l'époque sont entrées en conflit violent avec des théories scientifiques nouvelles. Ces circonstances extrêmes ne nous intéressent pas, les sciences du sol étant heureusement à l'abri de tels avatars. Il faut par contre noter que certains *ensembles conceptuels* que nous présenterons ici à la suite de A. KOYRÉ (59) comme des « *Idées transcientifiques* » ou même comme des « *idéologies* » ainsi que le dit L. ALTHUSSER (1), *issus de disciplines scientifiques voisines* ou ayant une origine *extra-scientifique*, prennent parfois une influence décisive dans des sciences aussi métaphysiquement neutres que peuvent l'être celles qui traitent des sols. Ces problèmes ne sont pas nouveaux, mais il est nécessaire d'en avoir clairement conscience. Quelques exemples nous aideront à y parvenir.

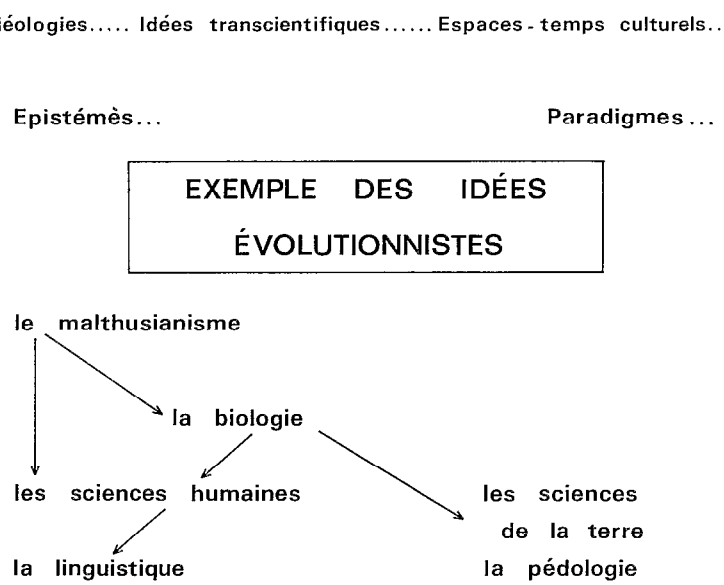
Au cours du premier quart de ce siècle, la mécanique quantique a bouleversé beaucoup de concepts auparavant fondamentaux de la physique générale et même de la physique atomique. Cela s'est effectué en dépit de l'opposition de nombreux physiciens, et non des

(*) Cl. BERNARD ne semble pas avoir eu beaucoup d'audience hors de France. Par contre W. WHEWELL (99) qui a développé des conceptions analogues aux siennes est très connu dans le monde scientifique anglo-saxon.

moindres. Pour la défendre, les créateurs de la mécanique quantique se sont lancés dans des débats qui ont été très rapidement déplacés vers l'extérieur, bien au-delà des phénomènes physiques considérés. C'est ainsi que M. PLANCK, N. BOHR, W. HEISENBERG, sont devenus *historiens et épistémologues*. HEISENBERG (48) a particulièrement bien situé la nature réelle des problèmes soulevés, en précisant que c'est « la vieille ontologie matérialiste véhiculée par le langage » qui a fait opposition aux nouvelles théories. Analysant les rapports de la culture humaniste et des concepts appliqués à l'infiniment petit, HEISENBERG conclut « il est impossible de s'occuper de physique atomique sans connaître la philosophie grecque ». Il ajoute : « si l'on demande à un atomiste de décrire ce qui se passe réellement, les mots « décrire », « se passe », « réellement », font référence à des concepts de la vie quotidienne ou de la physique classique. Demander que l'on décrive ce qui se passe dans la mécanique quantique est une contradiction *in adjecto* puisque le mot décrire se rapporte à des concepts qui ne peuvent être appliqués ». Il nous semble que *la pensée contemporaine* s'est trouvée *tout autant modifiée par cette manière de comprendre les obstacles intellectuels s'opposant à certaines théories nouvelles, que par la mécanique quantique elle-même* et son principe d'incertitude. Soulignons encore une fois que ce ne sont pas des philosophes mais des scientifiques qui ont ainsi fait éclater le problème des rapports unissant les sciences et les idéologies.

Nous proposerons maintenant de nouveaux exemples, qui ne montreront plus la pression d'un vaste contexte philosophique et idéologique sur une théorie scientifique, comme dans le cas précédent, mais feront apparaître d'un secteur scientifique à l'autre *des influences analogiques et des emprunts de modèles*. La théorie biologique de l'évolution des espèces nous en fournit une première occasion. Un peu effrayé sans doute par l'immensité de leurs conséquences, Ch. DARWIN a longtemps médité sur ses propres travaux. Il ne s'est décidé à les publier que lorsqu'une certaine compétition scientifique s'est manifestée, un dénommé A. R. WALLACE ayant exposé une théorie identique à la sienne. Les deux hommes ne se connaissaient pas. Les recherches historiques ont montré (95) que l'un et l'autre avaient lu les écrits de leur compatriote T. R. MALTHUS. Il existe une forte analogie entre les principes de la sélection naturelle des espèces et ceux de l'évolution démographique envisagée par le malthusianisme.

TABLEAU 1



Ces convergences ne sont certainement pas fortuites. DARWIN et WALLACE n'ont bâti leur propre système qu'après réflexion sur une thèse formulée pour un domaine lointain par rapport au leur, celui de la démographie et de l'économie. La théorie de l'évolution des espèces a eu à son tour des influences considérables, sur des sujets les plus variés, et notamment lors de l'apparition d'une nouvelle science qui s'est dénommée « pédologie » (24). Plus inattendue encore, l'une de ces influences concerne la linguistique. Laissons à ce propos parler B. MALMBERG (65). « Les nouvelles conceptions qui, au cours du XIX^e siècle, bouleversèrent les sciences naturelles, se reflètent également dans la linguistique. La doctrine darwinienne sur l'origine des espèces, la sélection naturelle et la lutte pour la vie, trouva son équivalent dans notre spécialité ». Nous avons donc suivi, en un résumé rapide, *un courant d'idées qui a traversé l'économie, la biologie, la linguistique*. Il s'est étendu encore beaucoup plus loin.

Les historiens des sciences cherchaient autrefois à montrer le développement progressif du savoir au cours du temps. A la suite de G. BACHELARD (4), ils soutiennent au contraire actuellement que les progrès véritables s'accomplissent suivant des discontinuités, des ruptures, des sauts. Ceci revient à voir, en dehors des périodes de mutation, les sciences circonscrites dans des champs conceptuels où certaines démarches sont possibles, apparaissent « normales » alors que d'autres ne pourront être pensées sans provoquer une « *révolution scientifique* », un changement d'« *épistémè* », le passage à un nouvel « *espace-temps culturel* ». Nous évoquerons rapidement, à la suite de ces quelques mots, les thèses bien connues de T. S. KUHN (60), M. FOUCAULT (40), G. GUSDORF (47). KUHN a décrit la « *science normale* » se déroulant à l'intérieur d'un « paradigme », c'est-à-dire dans un champ conceptuel cohérent, dont tous les concepts sont liés par des rapports associatifs et homologiques, sont compatibles les uns avec les autres. La science normale perfectionne les théories du paradigme, élargit leur application, elle précise certains points, résoud les énigmes particulières. Lorsqu'elle se produit, pour surpasser une crise fondamentale de la science normale du moment, la révolution scientifique renouvelle le champ conceptuel, crée un nouveau paradigme que la communauté scientifique n'adopte généralement qu'après de vives oppositions. L'« épistémè » définie par M. FOUCAULT est dans une certaine mesure comparable au paradigme représentatif d'une science, avec une extension beaucoup plus grande. En conservant quelques termes habituels du langage de l'auteur, nous dirons qu'elle constitue un espace, historiquement situé, dans lequel tous les énoncés traduisent une commune pratique, même s'ils paraissent très dispersés et s'appliquent par exemple à la grammaire, à l'économie, et à la biologie. L'histoire des sciences a conduit G. GUSDORF à la notion d'espace-temps culturel qui, elle aussi, montre d'étroites liaisons entre les différents domaines du savoir. « Les enchaînements de chaque épistémologie particulière », nous dit l'auteur, « sont liés à tous les autres enchaînements par des significations communes ». Contentons-nous de ces évocations, sans doute trop simples pour être très fidèles, mais qui suffiront peut-être à introduire une analyse nouvelle des sciences du sol. Celles-ci n'échappent pas plus que les autres à la critique générale du savoir, et elles peuvent s'interroger. A quelle idéologie, à quelle épistémè, à quel paradigme nouveau ou périmé, à quelle nécessité ou à quelle contingence, faut-il attribuer certaines pratiques des sciences du sol ? Celles, par exemple, qui consistent à débattre de la réalité ou du caractère arbitraire des individus-sols, à faire et à refaire des classifications universalistes, à ne se satisfaire que de schémas causalistes ou génétiques pour les uns, à n'admettre que des données quantifiées pour les autres ? Quelles sont les tensions, les contradictions, les obstacles, qui font qu'un spécialiste du sol puisse douter du caractère rationnel de sa discipline (*) ?

(*) BUTLER (B. E.) - 1964 - Can pedology be rationalized ? Austr. Soc. Soil Sci., Publ. 3, 14 p.

L'EXEMPLE DES SCIENCES VOISINES

Les analyses historico-critiques et épistémologiques sont devenues familières à beaucoup de sciences. La physique, qui à bien des égards apparaît comme un modèle pour les autres sciences de la nature, est ici aussi en avance. Du texte d'érudition à celui de vulgarisation, le nombre des ouvrages publiés est considérable. Au niveau de spécialisation qui est le sien, chacun trouvera le livre qui lui permettra une réflexion sur la mécanique newtonienne par exemple ou sur la relativité. Des personnalités marquantes de la physique contemporaine offrent leurs méditations et parfois leurs débats épistolaires dans des éditions à fort tirage. Cette épistémologie issue de la physique rejoint le problème général de la connaissance et fait sentir son influence très loin. Issus de la mécanique quantique, le principe d'incertitude, les relations probabilistes, la rupture avec un déterminisme généralisé, ont certainement contribué au renouvellement de la pensée dans les secteurs les plus divers. La situation est assez comparable en biologie, où ce n'est pas d'aujourd'hui que l'on ose parler de philosophie biologique (*). Les analyses actuelles sont plus explicitement épistémologiques et, comme cela est le cas pour la physique, elles sont généralement faites par les scientifiques eux-mêmes. Nous ne pouvons nous attarder sur ces trop vastes sujets, mais nous essaierons de voir avec un peu plus de détails ce qui se passe pour les Sciences de la Terre, géologie et géomorphologie. Nous n'aborderons qu'ensuite le cas des sciences du sol.

La géologie a une longue tradition d'analyse critique. Ses débuts ont été marqués par des débats passionnés, par un jeu de critiques réciproques entre théories concurrentes comme celles du « plutonisme » et du « neptunisme ». Pour leur époque (1830), les « Principes de Géologie » de Ch. LYELL représentaient un magnifique discours de la méthode. L'enseignement universitaire a longtemps entretenu le souvenir de ces discussions premières, et poursuivi cette élaboration méthodologique. De cette tradition, la critique du principe des causes actuelles par L. CAYEUX (23) un siècle après LYELL, est un bon exemple. L'enseignement a sans doute en partie perdu cette habitude de représenter les raisonnements par lesquels la géologie s'est constituée. La pression d'une trop grande masse d'informations à assimiler conduit à donner aux étudiants une image des sciences instituées en systèmes synchroniques achevés. Mais à contre-courant de la tendance précédente, la méthode historico-critique devient une spécialité de plus en plus souvent pratiquée. Un choix sans doute très restreint nous permet de mentionner les ouvrages de R. FURON (41), C. J. SCHNEER (90), R. HOOYKAAS (52). Les perspectives générales de l'épistémologie actuelle se retrouvent dans ces ouvrages où se dessinent clairement les discontinuités, les révolutions de la science des roches. A ces visions d'ensemble est venu récemment s'ajouter un travail qui peut être défini comme une épistémologie interne, bien qu'il n'en revendique pas le titre et qu'il s'abstienne de toute allusion à des notions extra-géologiques. Il s'agit de l'ouvrage de P. ROUTHIER (82). Notons qu'il contient beaucoup de remarques analogues à celles faites pour la pédologie (24), notamment à propos des concepts génétiques et à propos des problèmes du langage.

Des travaux que nous venons de citer, nous retiendrons deux exemples, qui montreront l'étendue des analyses épistémologiques déjà appliquées à la Science des roches. Le premier nous est proposé par P. ROUTHIER, il concerne la métasomatose et les migrations de matière dans les massifs cristallins. L'existence de ces processus est déduite de critères

(*) CALLOT (E.) - 1957 - Philosophie biologique. Doin, Paris, 353 p.

morphologiques montrant les successions de différents matériaux. Mais en fait, l'auteur montre qu'il y a eu de fréquentes confusions entre les migrations inter-minéraux, à l'échelle micro — et les migrations à grande échelle, traversant les massifs géologiques. Un métamorphisme iso-chimique est alors présenté, à tort, comme une métasomatose redistribuant des éléments sur de grandes distances. Cette analyse correspond typiquement à une épistémologie interne, que chaque science pratique avec plus ou moins de vivacité. A l'autre extrémité du champ épistémologique, R. HOOYKAAS tente de mettre au jour des influences idéologiques lointaines et complexes. Il souligne que la géologie est dans une large mesure une science historique, et que les problèmes de genèse s'y inscrivent dans le temps. « Tandis que les conceptions grecques et orientales de l'histoire étaient cycliques, et qu'elles impliquaient une répétition sans fin et non pas une progression, la vision biblique du monde est pleinement historique, et le fait que la conception de l'histoire dans notre sens moderne (histoire géologique comprise) se soit développée dans notre sphère judéo-chrétienne ne paraît pas totalement fortuit ». Incongrues pour qui veut se limiter à un secteur géologique restreint, des réflexions comme celles de HOOYKAAS sont au contraire indispensables à une compréhension générale des sciences de la terre.

La *géomorphologie* et sa science-mère la *géographie* semblent quant à elles bien entrées dans une *période d'épistémologie active*. Les critiques internes y sont courantes, comme dans les autres sciences. Elles ont manifesté une acuité particulière lorsque la géomorphologie davisienne a été remise en cause, dans les travaux de J. TRICART (97) notamment. Mais la critique dépasse ce cadre restreint. Ce sont de véritables études épistémologiques qui sont annoncées, parfois avec précaution comme le fait R. BRUNET (19) qui souligne que « peut-être le géographe, homme du concret, répugne-t-il instinctivement à l'abstraction que suppose la réflexion épistémologique ». Le rôle des idéologies est bien compris, A. MEYNIER (68) s'est clairement exprimé à ce sujet : « ... la pensée géographique se lie souvent à des tendances contemporaines, à des formes de philosophie ou de pédagogie. Entendons-nous : nous n'insinuons nullement que tel géographe a forcément lu et médité les œuvres philosophiques de son époque... L'essentiel est que géographe et philosophe aient raisonné de façon analogue, et souvent sans qu'ils s'en rendent compte ». La tendance générale de la géomorphologie à se tourner vers l'épistémologie étant reconnue, nous essaierons maintenant de caractériser quelques démarches particulières.

C'est assurément une critique interne que nous proposent J. TRICART et A. CAILLEUX (97, 98) lorsqu'ils démontrent les insuffisances ou les inconvénients du système davisien et qu'ils définissent les nouvelles méthodes constituant la géomorphologie dite climatique. Nous n'insisterons pas sur leurs argumentations, que tous nos lecteurs connaissent. A. MEYNIER (68) nous propose une autre démarche. Son ouvrage est un exemple de la méthode historico-critique, appliquée à un siècle de recherches géographiques et surtout géomorphologiques. L'auteur souligne qu'une théorie qui paraît actuellement foncièrement erronée peut avoir, en son temps, constitué un système cohérent en bon accord avec les faits connus. Parmi d'autres points de détail, les pédologues noteront sans doute au passage la mention de l'apparition du principe de zonalité, avec les travaux de E. de MARTONNE. Le contexte sociologique et idéologique est toujours pris en considération, l'auteur soulignant par exemple l'influence de H. BERGSON sur la pensée géographique française du premier quart de ce siècle. Nous abandonnerons là le travail de A. MEYNIER pour une autre démarche, typiquement épistémologique, qui consiste à confronter l'acquis d'une science aux principes généraux d'une théorie de la connaissance. Voici déjà longtemps que J. TRICART (97) souligne « la nature dialectique des phénomènes ». Dans l'évolution des reliefs, il met en évidence des mécanismes d'autocatalyse, accentuant les conditions qui les ont fait naître, et au contraire des rétroactions qui inversent les phénomènes. Plus récemment, R. BRUNET (19) lui aussi postule puis vérifie « la réalité objective du mouvement dialectique des faits naturels ». Dans une démarche très proche de la précédente, il montre les discontinuités des phénomènes géomorphologiques, les valeurs-seuils au-delà desquelles les

processus s'annulent ou s'inversent, les contradictions internes d'une évolution considérée dans sa totalité. L'ouvrage de A. REYNAUD (80) se rapproche encore plus d'une épistémologie générale, à caractère philosophique. C'est en effet la philosophie qui a constitué le point de départ de l'auteur, pour qui la géomorphologie a été seulement l'occasion d'une étude. Ce travail a été fortement critiqué, pour l'interprétation trop rapide des théories ou du langage de la géomorphologie, et pour la virulence des propos tenus contre certains. Quoiqu'il en soit, satisfaisant ou non, cet essai ne représentera sans doute pas un accident unique et sa méthode d'approche sera renouvelée.

Il naît actuellement, au sein de la géographie, une toute nouvelle « science du paysage ». Sans doute est-il trop tôt pour prétendre l'appréhender, surtout au cours d'un trop rapide examen. Néanmoins, à la lecture des premiers articles de G. BERTRAND (9), G. BERTRAND et O. DOLLFUS (10), J.-F. RICHARD (81), il semble certain que c'est dans un contexte historique et épistémologique clarifié que s'édifie cette science du paysage. Les auteurs cités font la critique de certains travaux géographiques antérieurs. Ce qui est plus significatif encore, ils précisent que leur démarche résulte d'une conjonction de données extérieures à la géographie parmi lesquelles figurent « la place plus large de la théorie et de l'épistémologie », « le développement des recherches sur les structures », « la linguistique » (10). Voilà un bon exemple à retenir.

Notre panorama du travail épistémologique accompli dans le cadre des sciences de la nature et plus spécialement de celles de la terre reste bien sommaire. Il nous aura permis pourtant, avant de passer au secteur scientifique qui nous intéresse directement, de voir se développer trois types de démarches. Il existe tout d'abord *une critique interne des sciences*, plus ou moins active, suivant que l'on se trouve en période de « science normale » ou en période de crise. Ensuite, *l'histoire des sciences* se présente comme une analyse critique, de même que l'histoire générale qui a cessé depuis longtemps d'être purement événementielle, elle retrace la genèse des concepts. La *démarche épistémologique* proprement dite s'étend de la critique interne des sciences à la théorie générale de la connaissance. Si elle fait apparaître des concepts idéologiques ou philosophiques, c'est que ceux-ci sous-tendent les discours scientifiques, ou qu'ils fournissent un moyen commode de les analyser.

LES DÉBUTS DE L'ÉPISTÉMOLOGIE DANS LES SCIENCES DU SOL

En un jugement rapide, nous avons autrefois (24) dénoncé l'insuffisance épistémologique de la science du sol. Le fait de présenter actuellement une « Introduction » à ce sujet est également significatif. Il se peut que certaines écoles pédologiques réfutent notre jugement. Elles peuvent se considérer suffisamment cautionnées, par exemple par le matérialisme dialectique, pris comme système général de la connaissance. Des auteurs comme A. A. RODE (*) et V. A. KOVDA (**) lui font explicitement référence. D'autres se satisfont peut-être des règles de l'opérationnalisme, comme cela semble être le cas de M. G. CLINE (30) ou de G. SMITH (94). Encore resterait-il à montrer que la science du sol est devenue véritablement dialectique, ou que l'opérationnalisme est une méthodologie réellement suffisante. Quoi qu'il en soit de ces pro-

(*) RODE (A. A.) - 1955 - Soil Science. Israel Progr. Sci. Transl. 1962, 517 p.

(**) KOVDA (V. A.) & al. - 1967 - Classification of the world's soils. 1. General considerations. Soviet. Soil. Sci., 4, pp. 427-441.

blèmes, et de ce que l'on pourrait penser dans certaines écoles, nous nous préoccuperons essentiellement de la situation de la communauté pédologique francophone. *Et si nous croyons pouvoir maintenir que l'épistémologie n'y prend qu'une importance insuffisante, il faut aussitôt ajouter qu'elle y est clairement annoncée, et depuis longtemps.*

Voici près de vingt ans, en 1956, L. GLANGEAUD (42) indique son intention d'utiliser les « résultats généraux de l'épistémologie » pour intervenir sur la classification des sols. Il présente la classification comme un langage technique, et remarque que l'établissement des taxonomies correspond à une étape première du développement des sciences. Une méthodologie est esquissée, basée sur l'analyse scalaire des phénomènes spatiaux et temporels, puis sur la reconnaissance d'une « réalité complexe ». Sans employer ce terme, L. GLANGEAUD envisage des « totalités » dont les processus élémentaires ne peuvent être compris isolément. Il semble actuellement étonnant que cette publication de L. GLANGEAUD n'ait pas eu davantage d'influence, et qu'elle soit peu citée dans l'enseignement et dans la littérature. Nous avouerons l'avoir découverte récemment, avec la surprise d'y trouver l'ébauche de beaucoup de réflexions actuelles sur l'étude des sols et sur la méthodologie générale des sciences de la nature. Une nouvelle tentative à noter, plus récente, est celle de G. MONNIER (*) qui se propose une « étude épistémologique des concepts » de la pédologie, et fait porter sa discussion sur la notion de sol, souvent considéré à tort comme « créature vivante » (influence de la tradition évolutionniste issue des théories de Ch. DARWIN), et sur les systèmes de classification. C'est aussi à une entreprise épistémologique que nous assimilerons l'essai de J. BOULAINE (16) portant sur la définition de la pédode, du genon et des concepts qui leur sont associés. Une première problématique s'est autrefois établie, de facon très empirique, autour des concepts d'horizon et de profil. C'est en fait une problématique nouvelle que nous propose J. BOULAINE, avec un support linguistique débarrassé cette fois de toute polysémie et autour duquel peuvent être formalisés les faits expérimentaux et les concepts interprétatifs. Signalons aussi que dans un cours inédit (**), J. BOULAINE soutient que la formation des pédologues ne doit pas se limiter à la connaissance de disciplines comme la physique ou la chimie, et qu'elle doit s'ouvrir à certaines réflexions philosophiques.

Un jeu qui a été souvent pratiqué consiste à découvrir, V. V. DOKUCHAEV mis à part, quels sont les fondateurs de la pédologie, ou tout au moins ses précurseurs. C'est ainsi que sont avancés, parmi d'autres sans doute, les noms de M. de RIEULE, un français ayant travaillé en Pologne, de F. A. FALLOU et de A. von HUMBOLT pour l'Allemagne, de P. E. MULLER pour le Danemark, de J. MORTON pour la Grande-Bretagne, de E. W. HITCHCOCK et de E. W. HILGARD pour les États-Unis. La recherche historique vise aussi à reconstituer l'élaboration du concept « sol » (***), ou par exemple à clarifier des notions employées en « agrologie tropicale » (****). Vingt années de recherches en Afrique tropicale ont fait évoluer une définition du sol que R. MAIGNIEN (64) s'efforce de préciser.

Pour les lecteurs de langue française, l'ouvrage de H. MARGULIS (66) propose un retour aux premiers principes et aux premières méthodes de la pédologie, tels que les ont édifiés V. V. DOKUCHAEV et N. M. SIBIRTZEV. R. W. SIMONSON (91) s'est fixé un plus vaste objectif, celui de retracer toute l'histoire du concept « sol ». Il nous apprend que les premiers

(*) MONNIER (G.) - 1966 - Le concept de sol et son évolution. Sci. Sol. 1, pp. 89-111.

(**) BOULAINE (J.) - 1971 - Cours de pédologie générale. Institut National Agronomique, Paris, Inédit, doc. multigr. 281 p.

(***) HENIN (S.) - 1957 - L'évolution du concept de sol et ses conséquences. C. R. Acad. Agric., 43, pp. 66-69.

(****) BOUYER (S.) - 1953 - L'agrologie ou science des sols. Historique sommaire. Centre Rech. Agron. Bambey, Bull. n. 9, p. 6-8.

témoignages d'une étude et d'une classification des sols remontent à la Chine du quatrième millénaire B. P. Depuis ces temps lointains sont apparues trois conceptions différentes du sol qui peut être considéré comme un simple milieu de croissance pour les plantes, ou comme une couche superficielle de débris de roche mêlés à des déchets végétaux, ou comme un corps organisé. Imposée par V. V. DOKUCHAEV, cette dernière conception est à la base de la science pédologique, mais les deux premières ont également cours actuellement pour des objectifs particuliers. De leur côté, les auteurs soviétiques ont souvent retracé l'histoire de la pédologie débutante, soulignant notamment le contexte sociologique et économique dans lequel elle est née. En regard des principes émis par V. V. DOKUCHAEV, ils ont analysé les tendances divergentes qui par la suite ont privilégié le principe de zonalité, ou l'influence de la roche-mère, ou les processus biologiques. Les publications traitant ces sujets sont trop nombreuses pour être citées ici. Le 50e anniversaire de la Société Internationale pour la Science du Sol a donné à certains auteurs, C. KELLOGG (*) et S. V. ZONN (**) notamment, l'occasion de résumer une période d'activité déjà longue. Les publications proposant une perspective historique sont trop nombreuses pour être toutes citées ici. Aussi rapide qu'ait été notre examen, nous concluerons cependant que la méthode historico-critique n'est pas restée inactive dans les sciences du sol. Elle manque pourtant encore de généralité, ses points d'application étant inégalement répartis. S'il existe de nombreux textes, se répétant d'ailleurs beaucoup, sur l'histoire du concept sol ou sur la pensée de V. V. DOKUCHAEV, il subsiste par contre de nombreux sujets qui n'ont pas été du tout considérés.

De multiples publications attestent que la science du sol se livre à une permanente critique interne. Nous mentionnerons seulement certains de ses thèmes favoris. La notion de sol est considérée non seulement dans son devenir historique, mais aussi dans le paradigme actuel. Si le concept de corps naturel est toujours admis par beaucoup, suivant la position prise autrefois par V. V. DOKUCHAEV, d'autres auteurs comme H. DOST (34) soutiennent qu'il n'a pas valeur de généralité. Il peut être nécessaire de lui substituer des concepts différents ayant une valeur opératoire dans une prospective donnée. Les objets pédologiques à considérer peuvent être par exemple des corps conventionnels, ou des systèmes énergétiques. Le caractère bi ou tri-dimensionnel du profil ou du pédon est souvent discuté. Pédons et individus-sols sont reconnus tantôt comme corps naturels, tantôt comme schématisations arbitraires. Le verticalisme et sa notion de matériau originel postulent que les horizons supérieurs sont passés par le même état que ceux qui leur sont sous-jacents. Les limites de ce principe sont précisées, en fonction des successions historiques et des dimensions latérales des processus pédogénétiques. Le pédon et l'unité biogéodynamique qui a des dimensions paysagiques, traduisent des conceptions qui s'opposent ou se complètent. La classification enfin donne lieu à de grands débats, la science du sol n'ayant toujours pas réussi à unifier son système taxonomique. Les réflexions qui constituent la critique interne de la science du sol ne sont pas toujours individuelles, elles font parfois l'objet de colloques. A titre d'exemple citons ceux qui ont pris pour programme « Le concept de sol et la méthodologie de l'étude des sols » (***) et « Les lois de variation dans l'espace des propriétés des sols et méthodes d'information et de statistique pour les étudier » (****).

(*) KELLOGG (C. E.) - 1974 - Soil genesis, classification and cartography : 1924-1974. Geoderma, 12, pp. 347-362.

(**) ZONN (S. V.) - 1974 - Main stages in the development of soil science in the USSR Academy of Sciences (on its 250 th anniversary). Soviet Soil Science, 3, pp. 255-262.

(***) 1967 - Centre Rech. Doc. Cartogr. Géogr., Mém. et Doc. vol. 6.

(****) 1970 - Acad. Sci. URSS, Ed. Nauka, Moscou.

Concluons cet aperçu. La *critique pédologique interne* est certainement très vivante. Ce n'est pas à son niveau qu'une approche épistémologique novatrice peut débuter, sinon peut-être en re-formulant des problèmes en suspens. La *méthode historico-critique* est déjà beaucoup moins avancée, puisqu'elle laisse encore dans l'ombre de vastes secteurs. Quant à *une épistémologie plus générale des sciences du sol*, il apparaît qu'elle est en projet depuis longtemps, mais qu'elle ne s'est manifestée que par quelques touches successives et discrètes.

LES POINTS DE DÉPART DU PRÉSENT TRAVAIL

Puisque l'on préconise ici la méthode historico-critique, il serait équitable de l'appliquer pour commencer à la démarche qui conduit à notre essai actuel, en ce qu'elle a de plus personnel cette fois et non pour la rattacher au contexte général qui vient d'être esquissé. Une courte analyse suffira. Elle doit nous permettre de lever une hypothèque concernant notre point de départ qui apparaîtra *situé sur des problèmes spécifiquement pédologiques* et non sur un vague héritage de prétentions philosophiques.

Hier comme aujourd'hui, les premiers contacts avec la pédologie tropicale font immédiatement apparaître l'existence de plusieurs écoles scientifiques. Cela est particulièrement sensible pour les tropiques les plus humides où dominent les formations dénommées sols latéritiques, ou sols ferrallitiques, ou ferrisols et ferralsols, ou terra roxa, ou ultisols et oxisols. Pendant longtemps en Afrique Centrale, les deux principaux systèmes en présence ont été ceux de l'Orstom et de l'Inéac. Des réunions, comme celle organisée par le Croaccus à Brazzaville en 1958 au moment du début de notre travail personnel, essayaient de coordonner les deux classifications. La surprise de constater ces divergences une fois passée, il est apparu qu'elles ne reposent pas sur des concepts de classification indépendants. Au contraire, elles sont largement conditionnées par des interprétations ou des théories assez lointaines par rapport à la taxonomie des sols. Une note intitulée « Influence des conceptions géomorphologiques et paléoclimatiques sur l'interprétation de la genèse et la classification des sols ferrallitiques d'Afrique Centrale et Australe » (*) a essayé de clarifier cette situation. Le système de l'Inéac y est présenté sous-tendu par la reconnaissance de la variabilité des climats du tertiaire et du quaternaire, et par l'interprétation allochtoniste de mise en place des matériaux superficiels. Il admet que des périodes pluviales et displuviales se sont succédées, parallèlement aux glaciaires et inter-glaciaires des pays de la zone tempérée. Pendant les périodes sèches des cycles climatiques africains,des matériaux grossiers et meubles se sont épandus sur les paysages. Le profil pédologique correspond à la différenciation tout à fait superficielle de ces matériaux. Une conception plus intégriste de la pédogenèse s'est développée à l'Orstom. Les phénomènes passés ne sont pas ignorés, mais aussi longue qu'ait pu être leur histoire, les sols sont constitués de tout ce qu'a laissé la transformation des roches dans les conditions de surface. Les remaniements sont souvent reconnus, mais dans certains cas (ou pour certains auteurs) une différenciation autochtone suffit à expliquer les profils. Inéac et Orstom ont donc développé deux conceptions du sol très différentes, ce qui s'est bien entendu répercuté sur les classifications. Ainsi, le cuirassement est reconnu dans le système Orstom comme un des processus majeurs de la pédogenèse, et il intervient à un niveau taxonomique élevé. Dans le système Inéac, il n'est plus question de

(*) CHATELIN (Y.) - 1967 - Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 5, 3, pp. 243-255.

cuirassement en tant que processus pédogénétique. La mention de la cuirasse (dont la formation est rejetée dans les phénomènes passés) apparaît avec la description des autres particularités lithologiques, à un niveau taxonomique très bas.

Nous pouvons dire actuellement que cette analyse (*) relevait de la *critique pédologique interne*, puisqu'elle ne faisait apparaître que des notions explicitement reconnues par la science du sol. Pour son auteur elle apportait *une première ouverture* vers les problèmes de nomination et de classification, de variabilité des interprétations génétiques, d'inter-dépendance de schèmes conceptuels apparemment assez lointains, de constitution de systèmes. Une suite possible à cette critique pouvait consister à rechercher l'explication de certains concepts plus profondément, dans *leur apparition historique*. Un travail de synthèse collectif entrepris sur les sols ferrallitiques en a donné l'occasion.

Le texte qui ouvre cette synthèse porte le titre « Historique. Développement des connaissances et formation des concepts actuels » (25). Son ambition est de donner une vue historique et critique de l'espace conceptuel où se définissent les sols ferrallitiques. Le mode d'exposition suit le déroulement chronologique des recherches, mais l'analyse proprement dite s'est élaborée par récurrence. Sa base de départ est le corpus des connaissances ou des théories actuelles. Elle remonte des derniers travaux considérés à ceux qui les ont précédés et pour lesquels ils constituent une continuation ou au contraire une rupture. A l'issue de cette analyse, le pédologue tropicaliste de l'époque actuelle apparaît « *en situation* », positionné dans une histoire dont les composantes sont autant sociologiques que scientifiques. Il ne met pas en œuvre tous les outils scientifiques que son époque pourrait lui offrir, mais seulement ceux que son histoire particulière a sélectionnés. Les « latérites » ont été étudiées au XIX^e^ siècle, à une époque où les métropoles européennes en pleine révolution industrielle réclamaient des matières premières. Leurs teneurs en fer et en aluminium suscitaient beaucoup d'intérêt. Plus récemment, ce sont encore des travaux miniers qui ont donné l'occasion d'établir la méthode tellement utilisée par la suite, celle des bilans géochimiques (isovolume). Deux grandes coupures épistémologiques, celle qui, aux environs de l'année 1927, a renouvelé l'étude des « latérites » par l'introduction des principes généraux de la science du sol, puis celle qui vers 1945 a vu se différencier plusieurs écoles définies par leurs méthodes et leurs langages, ne sont pas parvenues à supplanter l'influence des orientations de départ. Les sols ferrallitiques ont toujours une définition principalement géochimique, les sujets les plus pratiqués concernent les processus d'altération et la constitution minéralogique. L'histoire des recherches faites sur les « latérites » fournit peut-être un des plus beaux exemples que puissent offrir les sciences à propos de confusions introduites par le langage. Des débats passionnés se sont succédés pendant près d'un siècle. Il s'agissait parfois de reconnaître si telle ou telle formation était bien une « latérite », ou si certains auteurs utilisaient abusivement le terme. D'autres discussions portaient sur la genèse des « latérites ». Avec des définitions aussi variables, il n'est pas étonnant que l'on ait abouti aux conclusions les plus contradictoires. Par exemple, certains ont considéré les « latérites » comme spécifiques des régions forestières humides, alors que d'autres ne les voyaient se former que dans les paysages plus secs de savane. Ces anciens problèmes ont été éliminés par un renouvellement terminologique. Toutes les difficultés n'ont cependant pas été aplanies. Au moment de la préparation de cet « Historique » il ne semblait pas que la définition des sols ferrallitiques puisse être correctement formulée et que les limites d'extension du concept soient suffisamment précisées.

Le lecteur devinera facilement que la suite de notre entreprise allait conduire à un retour aux pratiques contemporaines de la science du sol, placées en regard des lignes de force

(*) CHATELIN (Y.) - 1967 - Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 5, 3, pp. 243-255.

apparues dans son histoire. Les principaux thèmes traités ont été celui du conditionnement du pédologue, « sujet connaissant », et celui de son langage. Faisant intervenir des concepts qui ne sont plus ceux explicitement utilisés par la pédologie, cette *nouvelle étape* a pris un caractère *plus typiquement épistémologique* que les deux premières. Elle s'est concrétisée en deux publications intitulées « Éléments d'épistémologie pédologique. Application à l'étude des sols ferrallitiques » (24) et « Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques » (27). Le pédologue n'est pas seulement celui qui tient le discours, le « logos » dont les sols sont l'objet, il apparaît aussi comme l'un des instruments de collecte des données élémentaires. Dans ce dernier rôle, est-il sûr, objectif et fiable ? Bien des exemples montrent que non, le pédologue-observateur ne retenant que certains « faits ». Leur sélection est réalisée en fonction de la théorie ou de l'hypothèse examinée, ce qui peut être légitime. Parfois aussi elle résulte simplement du corps lexical dont dispose le pédologue à un moment donné. Ainsi pendant longtemps l'existence des sols ferrallitiques aliatiques est pratiquement passée inaperçue, alors que beaucoup de chercheurs les avaient effectivement observés, uniquement par manque de nomination commune. De l'observation à la théorisation, le langage exerce un rôle considérable. Il existe actuellement deux groupes lexicaux principaux. L'un comprend tout le vocabulaire génétique formé à partir des premières orientations de la pédologie (influence de V. V. DOKUCHAEV et de ses disciples). L'autre réunit les termes de la description élémentaire des sols (Soil Survey Manual, Glossaire français). La néologie se pratique très peu dans la science du sol, sinon en certaines occasions particulières (7th Approximation). Aussi le pédologue qui ne dispose que d'un vocabulaire vieilli et insuffisant utilise-t-il la classification universelle des sols comme moyen général d'expression. Le problème des relations de la pensée et du langage se pose en termes de philosophie, de psychologie, d'épistémologie générale. Il ne recevra sans doute jamais de réponse que l'on puisse considérer comme définitive. Nous avons ici simplement essayé d'observer ce qui se passe dans le cas particulier de la science du sol, et de voir comment le pédologue s'organise dans les difficultés qui lui sont propres, entre les mots dont il dispose et les concepts qu'il voudrait créer.

L'analyse que nous venons de résumer brièvement a directement conduit à une intervention dans le domaine du langage. Un vocabulaire applicable aux sols ferrallitiques a été proposé, pour combler la lacune apparue entre les deux groupes linguistiques déjà mentionnés. Le véritable rôle de la nouvelle collection terminologique, comme celui de l'ensemble du langage, sera discuté plus loin. Soulignons seulement que notre première tentative épistémologique, aussi limitée fut-elle, n'est pas restée gratuite et stérile : par le biais d'un langage nouveau, elle peut porter très loin ses conséquences. Ceci renforce la conviction qu'une épistémologie plus généralisée influerait largement sur le cours de la science du sol.

UNE ANALYSE ET UN PROJET

L'histoire générale des sciences de la nature montre dans la plupart des cas l'existence de deux phases successives. La première est l'étape taxonomique, qui a duré particulièrement longtemps pour les premières sciences apparues, botanique et zoologie. Elle réalise l'inventaire des individus ou phénomènes constituant les « objets » de la science, établit un système de classification et de nomination. L'étape génétique qui la suit cherche l'explication des mécanismes, des processus en jeu. Les disciplines qui ont débuté plus tardivement que la botanique et la zoologie associent souvent les deux démarches, taxonomique et génétique. Cela est déjà net pour la géologie, et plus encore pour la pédologie qui dès ses débuts a voulu classer en utilisant des bases génétiques. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce sujet.

Nous soutiendrons ici que la science du sol tend actuellement à dépasser la pensée génétique telle qu'elle sera présentée au chapitre suivant pour entrer dans une nouvelle étape. Il apparaît tout d'abord que de nouvelles tendances strictement scientifiques soumettent à réserve la validité de la pensée génétique qui pouvait être prise pour un idéal jusque dans un proche passé. Ce problème sera reconsidéré plus loin. Nous soutiendrons aussi que la pensée génétique ne satisfait plus la curiosité intellectuelle qui peut s'exprimer actuellement de la même façon qu'il y a eu dans le passé un moment où la démarche taxonomique ne parvenait plus à stimuler l'intérêt des naturalistes. Dans le cadre fixé par la science du sol, la pensée génétique s'applique à rechercher les changements d'état (transformations minéralogiques par exemple), les mouvements de substances (lixiviation, éluviation, illuviation, etc.), elle s'exprime souvent par des bilans de matière (minérale ou organique) établis à différentes échelles (des pédo-structures élémentaires aux paysages). Les mécanismes intellectuels mis en jeu se répètent, faisant toujours appel aux mêmes schémas de départ, d'apport, de bilan. Nous soutiendrons enfin qu'une nouvelle vision, à caractère épistémologique, devient inévitable. La science du sol ne peut plus être considérée comme une sorte d'image en plus ou moins bonne adéquation avec la réalité. Elle apparaît comme une construction dans laquelle se discerne la marque d'un certain architecte.

Une comparaison nous permettra peut-être de mieux faire saisir ces nouvelles perspectives. La science du sol était autrefois présentée par V. V. DOKUCHAEV selon un schéma à deux termes :

sols ——————→ facteurs de formation (environnement).

Un progrès considérable de la pédologie a consisté, suivant I. P. GERASIMOV (*) à remplacer ce premier schéma, par un nouveau, à trois termes :

sols ——————→ processus ——————→ facteurs.

Entre ces deux schémas théoriques, la différence pourrait sembler mince. Tous deux admettent la même dépendance des sols envers leur milieu. Introduire la notion de processus pourrait n'être qu'une manière de rappeler que par définition tout facteur exerce une action. Pourtant, une réflexion rapide montre que sans avoir apporté de technique de recherche nouvelle proprement dite, l'adoption du second schéma constitue un progrès réel. Un processus peut s'annuler ou s'inverser à partir d'un certain seuil apparu dans la variation linéaire d'un seul facteur, ou plus facilement encore lors de l'interférence de plusieurs d'entre eux. L'introduction d'un troisième terme dans le schème conceptuel de la genèse des sols était donc bien justifié.

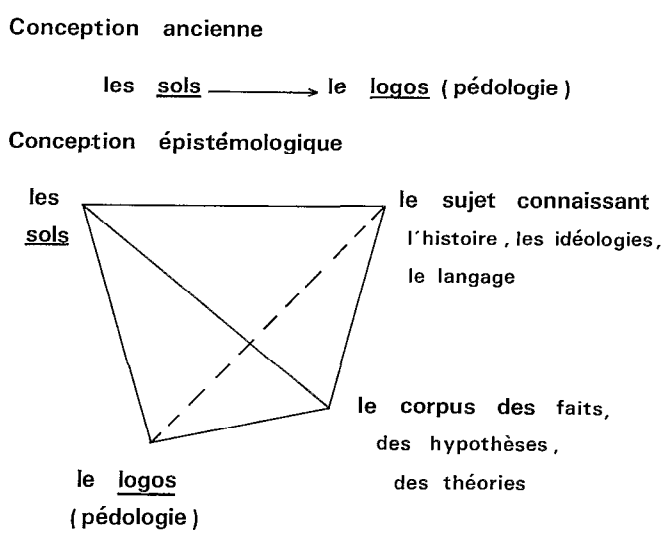
Pour revenir au sujet qui nous occupe, nous dirons que la science, c'est-à-dire le discours que l'on tient sur les sols, nous parait généralement compris suivant une relation directe entre sols et « logos ». Ceci revient à oublier d'une part que le « logos » ne s'établit pas de lui-même, mais par la médiation du pédologue, « sujet connaissant », conditionné par une certaine histoire, par un langage, par des idéologies. Et d'autre part que chaque action de recherche n'est pas totalement isolable et indépendante, mais qu'elle s'alimente dans un « corpus de connaissances » comportant des faits, des hypothèses, des théories en provenance de disciplines plus ou moins lointaines et plus ou moins strictement confirmées. Nous tenterons donc de *définir un cadre de référence nouveau* qui montrera les liens établis entre les objets étudiés (les sols), le sujet connaissant, le corpus des connaissances scientifiques, et le logos pédologique proprement dit.

Quelques mots restent à dire à propos du spécialiste des sols, considéré cette fois dans sa situation tout à fait personnelle. Ses prédécesseurs, les grands fondateurs des sciences

(*) GERASIMOV (I. P.) - 1966 - A world soil map and associated scientific problems. Soviet Soil Science, 4, pp. 369-380.

TABLEAU 2

CADRE DE RÉFÉRENCE



de la terre et sciences biologiques actuelles, possédaient une large vision de la nature, et leur culture générale s'étendaient bien au-delà. Nous avons vu des naturalistes du siècle passé suffisamment au fait des doctrines économiques de leur époque pour être influencées par elles dans leurs propres travaux. Le champ de leur savoir et de leur activité était assez vaste pour qu'ils n'y rencontrent jamais l'ennui, et ils restaient généralement curieux et créatifs jusqu'au terme de leur vie. Le « spécialiste » actuel quant à lui prend de plus en plus le statut d'*un travailleur scientifique aliéné dans son microcosme*. Comment imaginer qu'il conservera une véritable activité de l'esprit dans un domaine réduit à quelques éléments minéraux ou organiques toujours engagés dans le même jeu de transformation, de départ et d'apport, et pourquoi s'étonner que sa productivité se tarisse souvent très vite ? Nous pensons que l'épistémologie doit constituer le fond culturel des travailleurs scientifiques, des spécialistes du sol comme des autres. La résolution des « énigmes » de la « science normale », suivant les expressions de T. S. KUHN (60), est devenue longue et contraignante. Elle n'interdit pourtant pas à ceux qui s'y emploient de chercher *une désaliénation* dans une compréhension plus lucide du dialogue qu'eux-mêmes poursuivent avec les quelques objets de la Nature qui définissent leur discipline, et dans *une vision élargie de la Science*.

(*) Considérant les sciences sociales, P. de BRUYNE (20) estime que « le sujet de la science n'est nullement le chercheur lui-même ni même le corps des chercheurs, mais les théories et les méthodes scientifiques dans leur développement ». Ceci nous paraît traduire une idéologie typiquement structuraliste (75). Nous préférons quant à nous valoriser la position du chercheur, véritable « sujet connaissant ».

Chapitre deux

SITUATION DE LA SCIENCE DU SOL

L'épistémologie contemporaine s'est depuis longtemps détachée de l'idée d'une raison unique, commune à toutes les sciences. Le champ du rationnel s'est considérablement élargi, au-delà de ses bases aristotéliciennes et cartésiennes. G. BACHELARD (4) l'a proclamé avec éclat, récusant l'unité de la science, annonçant une épistémologie et par là même une science non cartésiennes. Plus récemment, R. BLANCHÉ (11) a souligné que la raison n'est pas le système immuable, indépendant de toute contingence historique, auquel on a pu croire autrefois. Ainsi la logique syllogistique n'apparaît-elle plus comme la base de tout système rationnel, elle n'est plus qu'une logique parmi d'autres. Il est même devenu normal d'utiliser, suivant le principe de complémentarité énoncé par N. BOHR (*) des concepts différents sinon opposés, lors de l'analyse de phénomènes naturels. La raison prend alors de nouvelles dimensions. Suivant la formule de J. ULLMO (**), « ce n'est pas un système de règles qui définit la raison, mais sa capacité d'en instituer un nombre indéfini ».

Cette vision contemporaine de la raison constituante ne peut manquer de se répercuter en chaque champ du savoir, et même dans le domaine très limité qui nous occupe. Nous considérerons *la science du sol comme un système « en situation »*, et non comme un système nécessaire. La science du sol ne peut se définir par une position plus ou moins avancée le long d'une voie de progrès unique et nécessaire. Sous la trame de ses énoncés, nous tenterons d'identifier certains modes particuliers de pensée. Nous essaierons de découvrir les enchaînements historiques qui ont conduit aux propositions actuelles. Il faudra enfin confronter les démarches habituelles de la pédologie actuelle à la méthodologie générale des sciences. Conduit jusqu'à son terme, à supposer qu'il en eut un, ce programme serait immense. Nous devrons nous contenter de l'ébaucher.

ENTRE RÉALISME ET NOMIMALISME

Les deux options

Pour qui observe de l'extérieur les hommes de science, il est hors de doute que tous ne présentent pas le même profil intellectuel, que tous n'obéissent pas à ces mêmes « tendances déterminantes » dont parle A. KOYRÉ (59), que *tous n'adoptent pas les mêmes convictions méthodologiques explicites ou non.* C'est ce que ALAIN (***)

(*) Cité par R. BLANCHÉ (11), voir aussi N. BOHR (14).
(**) Cité par R. BLANCHÉ (11).
(***) Cité par MONOD (69).

exprimait lui aussi en disant qu'il existe deux sortes de scientifiques, ceux qui aiment les « idées », et ceux qui les haïssent. Il entendait par là que certains se portent volontiers vers les démarches abstraites et théoriques, alors que d'autres ne s'attachent qu'à l'expérimentation et aux faits. Sous une image complètement différente, la même dualité se retrouve lorsque Ch. DARWIN (*) relate les débats opposant les géologues de son temps. Les uns soutenaient la nécessité de raisonner et de théoriser, alors que d'autres prétendaient restreindre les géologues, et plus généralement tous les scientifiques, au rôle d'observateurs objectifs. Si leur conception de la science était la bonne, disait DARWIN, ces derniers auraient tout aussi bien pu descendre dans un puits et y rester indéfiniment à compter les cailloux et à noter leurs couleurs. A travers ces anecdotes, nous voyons se profiler les deux principales attitudes qui peuvent être prises face à la science. Elles traduisent un dilemne permanent entre les tendances qui prennent tour à tour l'avantage, suivant les époques, la personnalité des scientifiques, les objets de la science. Aux scientifiques qui s'attachent aux « idées » et défendent le rôle essentiel de la théorisation, correspond la tendance « rationaliste » reconnue par G. BACHELARD et R. BLANCHÉ. Ceux qui se méfient de la théorie et recommandent de s'en tenir à une stricte observation représentent le « positivisme » (BACHELARD) ou le « style empiriste » (BLANCHÉ).

Ces deux tendances sont souvent présentées sous des formules variées par les philosophes et les épistémologues. *Nous les décrirons ici sous les termes du « réalisme » et du « nominalisme »*. L'un et l'autre ont reçu bien des usages différents au cours de l'histoire de la philosophie. Essayons de préciser rapidement quels sens ils peuvent avoir pour l'épistémologie contemporaine. Le réalisme apparaît comme une doctrine garantissant l'objectivité de la connaissance, la possibilité d'une saisie véritable du réel. Il postule l'existence d'un certain ordre de la nature, qui peut être découvert et compris par un esprit rationnel. Il s'appuie sur les schémas déterministes et causalistes, il permet la reconstitution des genèses et des évolutions. Dans une démarche réaliste, faits et théories sont étroitement associés, les théories sont prises pour des modèles vrais du réel. Tout au contraire, le nominalisme récuse le droit de croire à l'adéquation de nos constructions théoriques avec la réalité. Il jette un doute fondamental sur toute théorisation, réduit la science à traiter les données concrètes de l'observation, et restreint les lois à n'être rien de plus que des corrélations empiriques. L'esprit nominaliste est étroitement apparenté aux tendances de l'empirisme, du formalisme, de l'opérationnalisme, de l'instrumentalisme.

L'esprit réaliste

Il est rare que les spécialistes du sol précisent leurs options épistémologiques, chacun d'eux considérant probablement sa propre tournure d'esprit comme tout à fait légitime. Parfois cependant, surtout à propos de classification, les positions respectives sont assez clairement exprimées. A titre d'exemple, nous relèverons les déclarations de quelques pédologues européens chez lesquels nous trouvons une option nettement réaliste. On ne saurait être plus clair que W. L. KUBIÉNA (**) lorsqu'il précise sa notion de sol et ses principes de classification. Pour lui, le sol est beaucoup plus qu'un complexe constitué d'un nombre restreint de propriétés connues. C'est *une entité naturelle* qui comprend, outre les précédentes, toutes les propriétés que l'on ne peut pas encore identifier ou mesurer, mais qui apparaîtront peut-être à un stade plus avancé des recherches. L'auteur ajoute qu'il reconnaît parmi les sols l'existence d'*un ordre naturel, basé sur la causalité*, que la classification doit mettre en évidence. Cette argumentation a été reprise par J. W. MUIR (***) qui a défendu le système

(*) Ch. DARWIN - 1903 - More letters of Charles Darwin. Ed. by F. Darwin & A. C. Seward. London, John Murray.

(**) KUBIÉNA (W. L.) - 1958 - The classification of soils. J. soil Sci., 9, pp. 9-19.

(***) MUIR (J. W.) - 1962 - The general principles of classification with reference to soils. J. Soil. Sci., 13, 1, pp. 22-30.

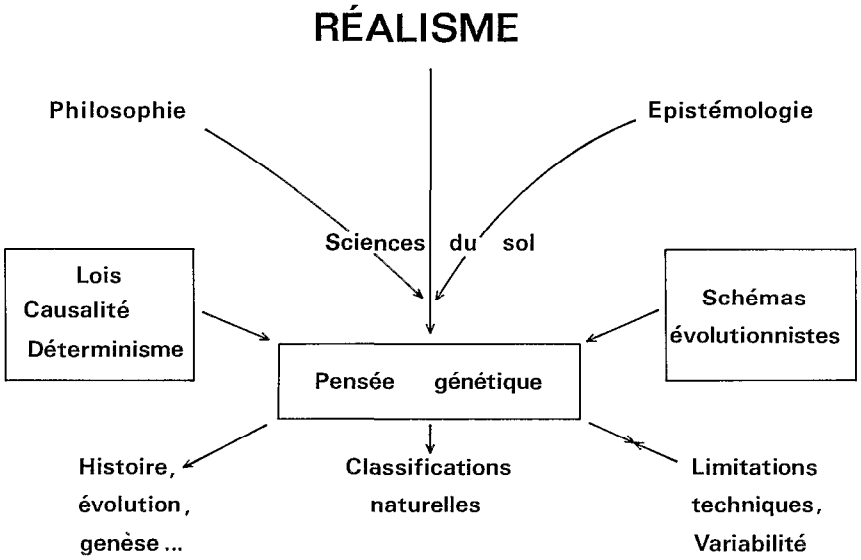
de la classification de KUBIÉNA. La classification périodique des éléments établie par MENDÉLÉEV peut servir d'exemple à suivre, selon MUIR, car elle est la plus parfaite de toutes les classifications naturelles. En effet, les connaissances sur la constitution de l'atome, apparues plus tard pourtant, n'ont donné aucun démenti au travail de MENDÉLÉEV. Ainsi se confirme la possibilité d'effectuer une approche valable quoiqu'incomplète : un « caractère essentiel » du réel peut être indirectement appréhendé. Une classification naturelle a *un pouvoir de prévision*. La même croyance à un ordre de la nature apparaît chez Ph. DUCHAUFOUR (*) lorsqu'il déclare, à propos des classifications « synthétiques », que les caractères morphologiques, physico-chimiques, biologiques « se coordonnent mutuellement en *un ensemble harmonieux*, susceptible de traduire efficacement la parenté génétique des divers sols ». Nous sommes loin ici du scepticisme des nominalistes. C'est en effet dans les systèmes de classification que l'on voit le plus clairement se manifester les grandes options épistémologiques. La position réaliste est à la base des classifications qui se disent « *naturelles* », voulant montrer par ce terme leur adéquation à la réalité, ou que nous avons dénommées « *pangnosiques* » (24), cette dernière expression soulignant que les classifications sont des systèmes de structuration de la connaissance.

Ce n'est pas seulement au moment de l'établissement de la classification que l'on postule l'existence d'un ordre naturel. L'esprit réaliste stimule, au cours de multiples travaux, la recherche des *grandes lois de la nature*. La découverte de la répartition zonale des sols, favorisée au départ par le fait, que, en Russie, la plupart des matériaux pédologiques sont récents et que par conséquent le facteur temps n'introduit pas de perturbation, a été ensuite généralisée. Son extension à des régions qui présentent, au contraire des précédentes, des chronoséquences très diverses a soulevé beaucoup de difficultés. Bien souvent, *le principal test de la validité* des critères pédologiques a été *leur conformité ou leur non-conformité aux répartitions zonales*. Ainsi, dans le cas des sols ferrallitiques, le rapport silice/alumine a été longtemps retenu comme critère le plus signifiant. Il a été relégué à un rôle secondaire lorsqu'il n'a plus paru possible de le relier régulièrement aux grandes variations climatiques. Il conservait pourtant la même signification intrinsèque, celle qui donne une mesure synthétique de l'état minéralogique et de l'évolution géochimique. Le taux de saturation du complexe d'échange a pris alors la place laissée par le rapport silice/alumine dans la classification. Il semblait tout d'abord que l'on allait trouver de façon régulière des sols désaturés sous les climats les plus humides, puis progressivement des sols plus saturés vers les régions plus sèches. Cette fois encore, le principe de zonalité ne s'est pas appliqué parfaitement et l'on a reconnu beaucoup d'imbrications de sols peu et fortement désaturés. L'importance donnée au taux de saturation a alors été critiquée, et certains auteurs ont proposé de ne plus en tenir compte dans la classification. La valeur intrinsèque du critère restait pourtant inchangée. Ces deux exemples ne sont pas seulement significatifs des principes mis en jeu dans la classification. Les critères haut situés dans la taxonomie font toujours l'objet de beaucoup d'attention, ce sont eux que l'on étudie le plus.

La tendance réaliste ne conduit pas seulement à établir des classifications que l'on dit naturelles, ou à rechercher de vastes répartitions conformes à la zonalité. Elle se manifeste *à toutes les échelles de travail*, avec souvent l'ambition de reconstituer les phénomènes naturels les plus complexes. A l'échelle des constituants élémentaires des sols, l'étude de l'altération (26) nous en donnera un exemple. Dans les altérites, gibbsite et kaolinite sont souvent associées de telle manière que la seconde paraît provenir de la première. Par contre, les essais de laboratoire ont échoué à obtenir la silicification de la gibbsite dans les mêmes conditions. La formule prudente du « tout se passe comme si... » pourrait être employée pour rendre compte de la situation

(*) DUCHAUFOUR (Ph.) - 1961 - Comparaison de la classification américaine et de la classification française. Pédologie, 11, 1, pp. 138-147.

TABLEAU 3



Malgré un démenti, ou tout au moins une absence de confirmation expérimentale, nous dirions alors que tout se passe comme si la gibbsite était silicifiée et transformée en kaolinite dans les sols. Mais pour beaucoup d'auteurs, l'interprétation des faits d'observation naturels sera considérée comme suffisamment assurée pour se passer de ce qui peut être pris pour une insuffisance de la méthode expérimentale. La silicification de la gibbsite est donc retenue comme un processus réel. A ce titre, elle sera intégrée à tous les raisonnements ultérieurs qui voudront retracer l'évolution des paysages géochimiques les plus vastes et les plus complexes. A une nouvelle échelle, celle du profil pédologique, la science du sol a construit un bon nombre de *modèles réels* (ou qui se veulent tels) auxquels chacun est habitué. Lorsque l'on présente un sol comme un corps organisé en horizons A éluviaux, horizons B illuviaux et horizons C de départ, c'est un modèle réel que l'on propose, c'est-à-dire un modèle qui prétend donner une réplique de son objet tant au point de vue de sa constitution intime que des liaisons logiques ou génétiques de ses parties. Quant aux travaux qui s'établissent sur de très grandes échelles, paysagiques, régionales ou même continentales, ils semblent devoir procéder pratiquement toujours d'un esprit réaliste. Nous prendrons à ce sujet la thèse de G. BOCQUIER (13) comme exemple. La théorie de l'auteur soutient la succession des processus de lessivage et d'accumulation, et l'invasion remontante des illuviations et néoformations, à travers les paysages, dans des matériaux primitivement lessivés. Elle s'achève sur *une vision unitaire des mécanismes pédogénétiques*. Les éléments déplacés ne sont pas les mêmes dans tous les sols, mais les schémas de différenciation restent comparables. Dans les séquences, le développement respectif des termes amont lessivés et des termes aval d'accumulation s'inverse progressivement suivant les changements climatiques, contribuant à donner des paysages pédologiques plus différents dans leurs apparences que dans les mécanismes qu'ils mettent en jeu. On pourrait dire d'une telle théorie qu'elle est une forme de monisme. Elle est, à l'évidence, bien loin d'un positivisme prudent.

Après avoir tout d'abord relevé certaines déclarations méthodologiques, nous avons voulu montrer rapidement les orientations prises en science du sol par la tendance réaliste.

Pour accomplir un dernier exercice, nous pourrions essayer de vérifier s'il y a bien accord entre les deux termes de notre analyse, c'est-à-dire essayer de voir si les auteurs dont nous interprétons les propos comme des prises de position réalistes ont effectivement conduit des travaux que l'on puisse rattacher à cette tendance. Pour cela nous retiendrons la communication faite par W. L. KUBIÉNA (*) sur les formations désertiques, en nous contentant de citer sa fiche bibliographique. « Une partie des sédiments désertiques est due à des climats humides anciens. Les sédiments conservent leurs propriétés structurales, malgré les modifications qu'ils subissent du fait du climat désertique actuel. Ils peuvent être reconnus facilement par leur micromorphologie en plaques minces ». Ces quelques mots montrent bien que la théorie de KUBIÉNA (comme celle de BOCQUIER) rassemble des interprétations multiples, qui s'appliquent ici à l'histoire du quaternaire, à l'influence générale du climat sur l'altération et la pédogenèse, à la genèse des figures micromorphologiques. Il est nécessaire à ce propos de bien saisir *la différence entre l'attribut de « validité » ou de « vérité »* des concepts mis en jeu par la science. Une théorie qui réunit des concepts aussi complexes et aussi lointains que ceux-ci ne peut se contenter d'affecter à chacun d'eux une certaine validité liée aux conditions particulières d'une opération. Elle les tient nécessairement pour vrais, *elle postule le réalisme fondamental de la science.*

La position nominaliste

Il ne sera pas inutile, pour la suite de nos propos, de noter dès à présent que *la position nominaliste s'est souvent présentée comme une réaction contre l'esprit réaliste.* Dans le langage vigoureux et volontiers ironique de G. W. LEEPER (** et ***), cette prise de position nouvelle adoptée sur un refus de la première est très apparente. LEEPER assimile le réalisme scientifique à une « illusion idéaliste », et il s'interroge ainsi. « L'illusion idéaliste est étrange parmi les scientifiques, puisque c'est contre elle que nous nous sommes battus pendant des siècles ». Comment pourrions-nous découvrir cet « ordre essentiel de la nature » sur lequel certains prétendent établir leurs systèmes de classification, le tiendrions-nous d'une « révélation » ? Pour LEEPER d'ailleurs, la prétention de tout classer suivant des principes génétiques ne devrait conduire qu'à des inconséquences. Pour rester logique, il faudrait par exemple placer le chlorure de sodium dans la catégorie « obtenue par évaporation solaire » !

Laissons G. W. LEEPER à sa polémique, et consultons de nouveaux auteurs. Le traité de pédologie de H. JENNY (57) fait apparaître les premières remarques d'un esprit nominaliste. Le sous-titre de l'ouvrage donne immédiatement une indication, puisqu'il annonce « *un système de pédologie quantitative* ». JENNY souligne sa préférence pour les données chiffrées des analyses physico-chimiques, et exprime son espoir de voir un jour toute la pédologie se quantifier, au niveau de l'étude morphologique des sols notamment. Plutôt que de prétendre à des « lois naturelles » en réalité trop spéculatives, il préconise les « *relations fonctionnelles* », expression qui désigne pour lui des corrélations quantifiées. Le caractère « hypothétique » et « spéculatif » de certaines classifications est également dénoncé. Ayant repris le plus souvent possible les termes de l'auteur lui-même, nous espérons avoir fait comprendre ses convictions épistémologiques. L'analyse complète de son livre n'est pas possible ici. Nous rappellerons seulement à ceux qui l'ont lu la part essentielle qu'il donne aux corrélations entre facteurs de formation et caractères des sols. La théorie ou la classification qui pourrait donner une vision globale des sols (ou de leur genèse) disparaît ainsi au profit de multiples schémas partiels, climat-matière organique, climat-saturation, roche-texture, temps-développement du sol, etc. Chez des auteurs

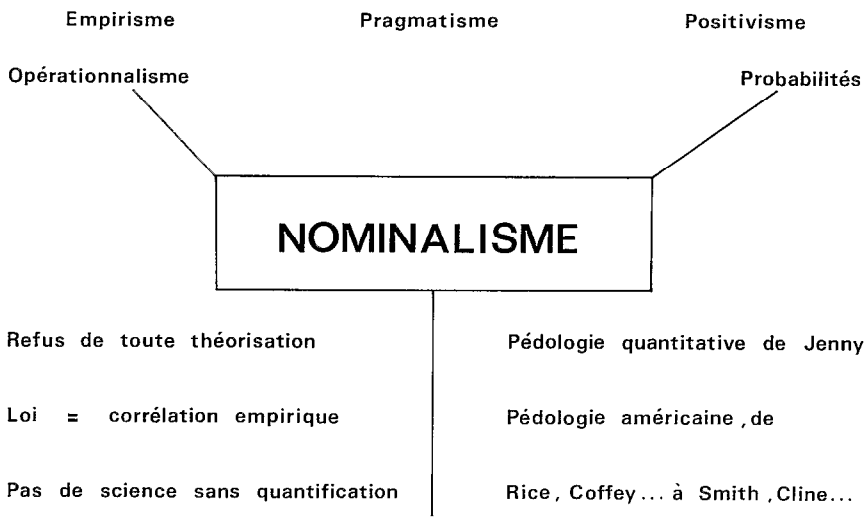
(*) KUBIENA (W. L.) - 1953 - Pour la reconnaissance des formes d'altération primaire et secondaire dans les sédiments désertiques C. R. 19e Congr. géol. intern., Alger, p. 85-89.

(**) LEEPER (G. W.) - 1954 - The classification of soils. An Australian approach. 5e Congr. intern. Sci. Sol, Léopoldville, 4, pp. 217-226.

(***) LEEPER (G. W.) - 1956 - The classification of soils. J. Soil Sci., 7, 1, pp. 59-64.

comme M. G. CLINE (30) et G. D. SMITH (94), la position nominaliste se radicalise, elle s'explicite, et cherche sa justification dans une théorie épistémologique développée par P. W. BRIDGMAN (18) celle de l'*opérationnalisme*. CLINE et SMITH tentent de débarrasser la science du sol de tout *a priori*, de toute subjectivité. La science ne doit retenir que des concepts strictement définis par la suite des opérations conduites pour les obtenir. Il n'existe pas de science véritable qui ne soit quantifiée. Les lois ne sont rien d'autres que des mises en relation. Les prétendues explications, les suppositions génétiques ne recouvrent en réalité que des corrélations empiriques. La théorisation n'est pas seulement abusive en droit, elle peut aussi freiner l'acquisition de nouvelles connaissances (*).

TABLEAU 4



Il n'est pas difficile de voir où conduit ce nominalisme radical lorsqu'il est question de classer les sols. La « 7 th Approximation », pièce maîtresse de la tendance nominaliste, est connue de tous, et nous n'allons pas entreprendre de la commenter. Il existe d'autres classifications, de portée peut-être moins étendue, qui relèvent de la même attitude épistémologique. En présentant une « *factual classification* », c'est-à-dire une classification des « faits », K. H. NORTHCOTE (**) se situe sans ambiguïté dans cette tradition. Il en est de même de toutes les « taxonomies numériques », établies à partir de faits élémentaires facilement définissables, à l'aide de computers, soigneusement à l'abri (au moins en principe) de tout présupposé théorique. D'une façon plus générale, nous dirons que la tendance nominaliste est d'établir des classifications « sommatives » (24), c'est-à-dire qui prétendent se limiter à faire la somme des données objectives constituant notre information. Ces classifications s'opposent à celles

(*) « This is to say that the soil scientist should use soil genesis in the form of the empirical geographic correlations... but should not make them dependent upon hypotheses of soil-forming processes and should not translate them into theories... » (M. G. CLINE, 30).

« The laws are simply statements of quantitative relations. All definitions of science involve its quantitative nature. » (G. D. SMITH, 94.)

(**) NORTHCOTE (K. H.) - 1962 - The factual classification of soils and its use in soil research. Trans. Joint Meet. Comm. IV & V, Intern. Soc. Soil Sci, Palmerston, New-Zeeland, pp. 291-297.

qui sont guidées par une théorie préalable, qui pensent faire apparaître un ordre naturel fondamental, qui croient rendre potentiellement compte de caractères non encore identifiés.

Il existe en science du sol beaucoup d'études qui peuvent satisfaire les exigences formulées par les défenseurs du plus strict nominalisme. Cela est probablement le cas de certains travaux portant sur l'évolution, au cours des saisons et des cycles culturaux, des paramètres qui conditionnent la fertilité. Qu'il s'agisse de matière organique, de bases, de phosphore, ou de propriétés physiques, chaque critère a une définition parfaitement « opérationnelle » puisqu'elle se réfère à un protocole analytique. Les travaux commencent généralement par le problème de l'échantillonnage et de la variabilité des paramètres pédologiques. Ils s'achèvent sur des coefficients de corrélation, sans que l'opérateur n'ait fait intervenir de notions étrangères à son expérimentation. Chacun pourra sans doute trouver d'autres exemples de ces travaux toujours étroitement contrôlés, conformes aux principes énoncés par M. G. Cline et G. D. Smith.

Dernières remarques

L'opposition du réalisme et du nominalisme a donc fourni un schéma commode pour rendre compte de certaines orientations prises au sein de la science du sol. Nous n'avons pas pu pousser très loin notre analyse, mais pourtant ces deux positions épistémologiques nous sont apparues, clairement exposées ou au moins sous-entendues, dans les propos de plusieurs spécialistes des sols. Nous avons ensuite rappelé à quels systèmes de classification elles se rattachent. Quelques exemples enfin ont montré les caractères des travaux qu'elles peuvent susciter. Réalisme et nominalisme représentent sans doute pour la science deux pôles attractifs solidement implantés, mais qui ne contrôlent pas tout. Nous nous garderons de généraliser l'analyse qui vient d'être esquissée, et nous admettrons que certains travaux ne sont pas plus marqués par un esprit nominaliste que par un esprit réaliste, nous reconnaîtrons que certains secteurs de recherche relèvent d'*autres notions épistémologiques*.

LA SCIENCE DU SOL DANS SON HISTOIRE

L'histoire d'une science peut s'écrire de bien des manières. Nous ne nous attacherons guère à une histoire restreinte des événements scientifiques, identifiant les précurseurs, fondateurs ou découvreurs, retraçant le déroulement chronologique des travaux. Plus approfondies, certaines histoires « régionales » nous intéresseront si elles font référence à un « contexte de découverte » sociologique et idéologique, si elles recherchent les « racines » des concepts scientifiques ayant cours actuellement, si elles établissent les raisons des succès inégaux obtenus en différents secteurs. Quelques recherches historiques ainsi conçues (66, 91, 25), chacune d'elles se limitant à un espace particulier de la science du sol, ont été déjà mentionnées dans les pages précédentes. Leur petit nombre doit malheureusement être noté, alors qu'il faudrait au contraire qu'elles se multiplient pour étoffer une histoire plus générale et plus abstraite encore. Celle-ci répondrait aux préoccupations que nous développons ici, elle serait l'*histoire de la science du sol écrite en regard des concepts épistémologiques*.

C'est surtout comme un projet que nous devons présenter cette dernière manière d'écrire l'histoire de la science du sol. Nous l'ébaucherons par quelques touches successives, reprenant des remarques déjà présentées ailleurs (24), situant historiquement les options épistémologiques reconnues aux paragraphes précédents. Nous proposerons enfin quelques jugements sur la situation contemporaine de la pédologie.

Les points de départ

DOKUCHAEV a sans doute eu beaucoup de précurseurs, et peut-être même n'a-t-il pas été le seul en son temps à édicter les règles d'une véritable science du sol. Ces questions ont été beaucoup débattues, de même qu'il s'est trouvé des polémistes pour soutenir que la première classification périodique des éléments n'est pas celle de MENDÉLÉEV. La réponse à donner dans l'un et l'autre cas est probablement la même (*), mais ces débats en fait ne nous concernent guère. Il nous semblerait plus important de pouvoir préciser les circonstances qui ont permis à DOKUCHAEV de développer certaines idées et qui ont assuré leur succès. Certaines d'entre elles ont été indiquées par plusieurs auteurs. Elles font référence à de mauvaises récoltes qui auraient attiré l'attention sur les sols, et au désir des autorités de l'époque d'établir des taxes proportionnelles à la fertilité des terres. Il est beaucoup plus délicat de vouloir définir dans quel contexte intellectuel, « paradigme » (60) ou « épistémè » (40), la science de DOKUCHAEV et de ses élèves s'est constituée, et de reconnaître les caractères que ce contexte lui a imposé. C'est pourtant là que se situent les problèmes qui nous préoccupent.

Aucune époque ne peut se prévaloir d'une parfaite unité de pensée. A certains égards, la période qui s'achève avec *les dernières décades du XIX^e siècle* sera prise comme un exemple de modestie scientifique. Beaucoup de naturalistes y poursuivaient avec patience de longs travaux d'inventaire, de description, de classement, bien loin de toute théorisation. Mais aussi, nous pourrons soutenir que *jamais l'esprit scientifique ne s'est senti plus sûr de lui et ne s'est moins soucié de ses postulats*. La nature paraissait alors obéir à un déterminisme strict, celui d'un univers laplacien, ne laissant aucune place à l'incertitude et au hasard. L'homme de science se considérait comme l'observateur d'une nature parfaitement ordonnée. Sans doute, son observation pouvait être incomplète et parfois même erronée. Mais entre le vrai et le faux, il n'y avait pas alors place pour les notions de relativité et d'incertitude qu'une science plus avancée devait paradoxalement introduire. C'est dans ce climat intellectuel qu'a travaillé DOKUCHAEV. Il n'est pas difficile de retrouver plus précisément les influences qu'il a reçues. Nous savons qu'il a été l'élève de D. I. MENDÉLÉEV, et lui-même a dit (1899) situer les travaux de Ch. LYELL et de Ch. DARWIN parmi les plus grandes contributions apportées à la connaissance humaine. L'influence de DARWIN sur les naturalistes de la deuxième moitié du XIX^e siècle est de toute évidence considérable, et l'on a pu dire que tous les travaux des biologistes de cette époque n'ont été qu'un long commentaire sur le darwinisme. Pour la nouvelle science du sol, la biologie a montré l'extraordinaire puissance d'une théorie, capable de rendre compte semblait-il de tous les faits connus, capable aussi de révéler tout le sens d'une classification naturelle. Il a souvent été dit que c'est sous l'influence de DARWIN que les sols ont été pris comme des types évolutifs. Les « Principes de Géologie » de LYELL ont sans doute été interprétés aussi en soulignant le rôle fondamental de la théorie. L'uniformitarisme, ou principe des causes actuelles, appliqué en géologie, devait inciter par analogie à rechercher les causes ou plutôt les « facteurs » de formation des sols. Nous allons maintenant, avec MENDÉLÉEV, nous écarter des sciences naturelles, mais ce sera pour trouver l'un des cas où le rationalisme scientifique de l'époque a obtenu l'une de ses plus belles justifications. La confiance manifestée par MENDÉLÉEV envers son propre système était totale. Sur ses bases théoriques, il n'a pas hésité à rectifier de nombreuses données expérimentales (28 poids atomiques) et à imaginer l'existence de nouveaux éléments (gallium, scandium, germanium) qu'aucun fait ne laissait alors prévoir. L'avenir devait lui donner entièrement raison, soulignant l'extraordinaire pouvoir de prévision de sa classification. Rappelons encore (24) ces paroles de MENDÉLÉEV où se résument sans doute ses plus profondes convictions, « Les généralisations, les doctrines, les hypothèses et les théories sont l'âme des sciences ».

(*) « On doit, à juste titre, considérer comme le créateur d'une idée scientifique celui qui a compris le côté non seulement philosophique, mais aussi pratique de la chose, et qui a su faire en sorte de gagner tout le monde à la nouvelle vérité et d'en faire le bien de tous ». D. I. MENDÉLÉEV, œuvre complètes, t. XIII.

Les chercheurs vivaient donc un *Rationalisme scientifique parfaitement confiant.* La science dévoilait les grandes *Lois de la Nature.* En regard de nos premières notions épistémologiques, cette époque était celle d'un *Réalisme triomphant.* Quelques années de travail suffirent pour que DOKUCHAEV et ses premiers élèves se sentent fondés à formuler, à leur tour, les lois principales de leur propre science. Sous l'influence de la biologie darwinienne, ces lois furent des lois génétiques (le terme lui-même est emprunté à la science du vivant). La pédologie qui s'est édifiée au temps de DOKUCHAEV n'a pas bénéficié, comme certaines autres sciences de la nature, d'un long passé d'observation et de classement. *Elle a entrepris d'un même mouvement les premiers inventaires, l'établissement d'une taxonomie, l'analyse des mécanismes et des genèses.* La science du XIX^e^ siècle était essentiellement continuiste, le passage d'un état à un autre étant envisagé sous la forme d'une progression. Sur ce point, V. V. DOKUCHAEV et N. M. SIBIRTZEV se sont trouvés probablement très en avance par rapport à l'esprit général de leur temps. Ils ont très vite discerné dans la genèse des sols toute *une série de processus qualitativement différents.* La loi de zonalité n'était pas pour eux une relation de continuité, puisqu'elle faisait apparaitre la formation du chernozem, la podzolisation, etc., comme autant de processus distincts.

La science du sol soviétique est la suite directe du travail commencé par DOKUCHAEV. Les principes établis par lui ont souvent été pris comme base de justification, certains pédologues reprochant à d'autres de s'en écarter. Il est permis de s'interroger sur les raisons d'un tel succès et d'une telle pérennité. La pédologie soviétique représente un monde immense, et qui de plus ne peut pas être compris sans référence au matérialisme dialectique. A leur manière et dans leur langage, les auteurs soviétiques ont multiplié des analyses et des critiques que nous pouvons dire épistémologiques. Dans ces conditions, il devient délicat de porter un jugement rapide sur un système aussi complexe, et malgré tout assez lointain pour des pédologues français. Nous nous risquerons néanmoins à quelques commentaires, non sans rappeler que nous limitons notre prétention à donner une « introduction » à des sujets méritant d'autres développements. La science du sol a tout d'abord suivi l'esprit réaliste qui prévalait dans certains groupes scientifiques de la fin du XIX^e^ siècle. Elle a trouvé ensuite, dans une société se réclamant du matérialisme dialectique, un climat épistémologique tout aussi réaliste. La théorie de la connaissance impliquée dans le matérialisme dialectique est souvent dite « théorie du reflet ». Elle postule que notre connaissance est un reflet du réel, incomplet sans doute mais perfectible. Un savoir correctement établi peut être enrichi, mais ne sera jamais réfuté. Le matérialisme dialectique développe une épistémologie non-bachelardienne, dans laquelle chaque progrès scientifique n'apparait plus coupé du savoir précédent. Transposé au cas de la science du sol, ceci veut dire que les principes émis par DOKUCHAEV restent toujours valables. Nous avons mentionné plus haut la reconnaissance implicite de la discontinuité des processus pédologiques. Ainsi une variation de climat peut faire passer d'un premier processus à un second puis à un troisième. Ceci représente une parfaite illustration de la « loi du passage de la quantité à la qualité », une des lois fondamentales du matérialisme dialectique. Certains auteurs ont soutenu que DARWIN a inconsciemment appliqué une démarche dialectique dans son élaboration de la théorie de l'évolution. Ces mêmes auteurs pourraient sans doute en dire autant de DOKUCHAEV et de ses premiers élèves. C'est ainsi que nous expliquerons la continuité unissant DOKUCHAEV aux auteurs actuels dans ce pôle du réalisme pédologique que constitue la science du sol soviétique.

Une position réaliste trop rigide devait-elle conduire à un certain dogmatisme, et devait-elle privilégier la considération des facteurs de formation supposés, au détriment des caractères des sols eux-mêmes ? Peut-être. En tout cas, la réaction contre le réalisme n'a pas manqué de se produire dans la société américaine, siège du nominalisme, de l'empirisme et du pragmatisme. Avec l'histoire de la pédologie américaine, nous abordons à nouveau un sujet complexe, et nous devrons nous excuser de le traiter trop brutalement. Le pédologue

G. N. COFFEY (*) a été le premier, paraît-il, à protester contre les présupposés génétiques et à réclamer des définitions se rapportant uniquement aux sols. C'était une prise de position de type nominaliste. Elle a été suivie notamment par T. D. RICE (**), avant que les principes strictement nominalistes défendus par BRIDGMAN (18), SMITH (94) et CLINE (30) ne soient systématiquement appliqués. Mais entre-temps, la pédologie américaine a connu une longue période d'inspiration différente. Il a été souvent rappelé que c'est C. F. MARBUT qui a imposé aux U.S.A. les principes de la science créée par DOKUCHAEV et que le livre de K. D. GLINKA lui avait fait connaître. J. S. JOFFE (***) nous a rapporté que, avant cette intervention de MARBUT, l'étude des sols aux U.S.A., consistait à identifier les « types » de sols suivant trois critères, « 1 l'origine géologique, 2 la texture, 3 l'agriculture ». Cela était sans doute un peu court pour constituer une science. MARBUT a édifié un système assez largement génétique et donc interprétatif, dont le caractère le plus original était la reconnaissance de sols « normaux » et « anormaux », « mature » et « immature ». Il faudrait une très longue étude pour rétablir toutes les nuances suivant lesquelles MARBUT prétendait se démarquer de l'école russe, et toutes les modifications introduites par ses successeurs immédiats. Toutefois, dans la vision raccourcie dont nous devons nous contenter ici, nous présenterons C. F. MARBUT et ses prétentions génétistes comme un « accident » (24) dans le milieu fortement nominaliste de la pédologie américaine. La 7th Approximation n'a fait que renouer avec une tradition qui s'était exprimée avant MARBUT.

Voici donc rapidement situés *les points de départ de deux tendances épistémologiques* qui ont motivé, en profondeur, certaines écoles de la science du sol. Rappelons que ces options ont laissé leur marque au niveau du *langage pédologique* (27). Il existe deux groupes lexicaux principaux, l'un exprimant les interprétations génétiques (pôle réaliste), l'autre constituant les normes descriptives élémentaires (pôle nominaliste). Mais une véritable histoire de la science du sol ne s'en tiendrait pas là. Il ne lui suffirait pas de montrer, avec plus de détails et de nuances que nous, le jeu des options épistémologiques fondamentales. Elle devrait aussi retrouver les points de départ et les développements de techniques, de méthodes, de concepts multiples. Une science définit son objet dans une large mesure suivant *les moyens d'investigation* qui sont à sa portée. La pédologie a une histoire qui est aussi celle des techniques minéralogiques, chimiques, biologiques, etc. C'est sans doute à tort que l'on entreprend généralement *l'histoire des concepts vécus*, et jamais l'histoire des concepts avortés. L'histoire régionale consacrée aux sols ferrallitiques (25) nous fournira à ce sujet un exemple. La grande majorité des travaux qui y sont mentionnés a un caractère géochimique. Cela fait oublier que la motivation de beaucoup de recherches sur les sols tropicaux était d'ordre agronomique. Pourquoi cela n'a-t-il pas laissé davantage de traces, au niveau des concepts généraux et de la classification est une question tout aussi intéressante que celle que l'on peut poser sur le succès des critères géochimiques. Une histoire des concepts devrait aussi distinguer ceux qui appartiennent en propre à la science du sol, et ceux qui sont allogènes. Ces derniers sont évidemment nombreux dans une science « carrefour ». Lorsque l'on parle de l'invasion remontante de la montmorillonite dans certains paysages, c'est assurément une théorie pédologique que l'on développe. Mais en faisant intervenir la montmorillonite, cette théorie véhicule de nombreux concepts préalables, étrangers à la science du sol, concernant la minéralogie des argiles et la géochimie de surface.

(*) COFFEY (G. N.) - 1912 - A study of the soils of the United States. U.S. Dept. Agric., Bureau of Soils, Bull. nº 85, 114 p.

(**) RICE (T. D.) - 1927 - Should the various categories in a schema of soil classification be based on soil characteristics or on the forces and conditions which have produced them ? I st Intern. Congr. Soil Sci., Washington, 4, pp. 108-112.

(***) JOFFE (J. S.) - 1949 - Pedology. 2 nd Ed., Pedol., Publ., New Brunswick, 641 p.

Dans un secteur pédologique limité, comme celui que définissent les sols ferrallitiques, il peut apparaître (24) que les concepts allogènes sont ceux formant l'armature la plus solide, les lignes de faiblesse se situant au contraire au niveau des concepts intérieurs de la science du sol. Cela peut expliquer que les sols ferrallitiques soient bien définis en tant que formations géochimiques, et que de grandes difficultés persistent dans des opérations qui devraient être élémentaires, par exemple lorsqu'il faut donner une définition typologique et représenter des sols sur une carte. L'utilisation d'un matériel très banal, le microscope optique, a tardivement constitué un secteur particulier de la pédologie, celui que l'on nomme micromorphologie, bien après la généralisation des déterminations minérales plus complexes, par spectrographes X notamment. Instrument encore plus récent et plus élaboré, le microscope électronique à balayage est déjà largement adopté. N'est-ce pas en raison de l'attraction particulière exercée par la minéralogie et par les perspectives qu'elle ouvre sur la géochimie ? Poser de telles questions est loin d'être inutile. Les travaux scientifiques se prolongent les uns les autres, laissant souvent de vastes zones d'oubli. On doit bien entendu avoir conscience de ces problèmes dans chaque science. Malgré tout, seul le patient travail de l'historien, faisant le compte de ce qui a été fait et de ce qui a été dit, peut montrer vraiment l'enchaînement des techniques, des concepts, des sujets de recherche.

La pensée génétique

En regard des tendances épistémologiques profondes qui sont apparues au cours de l'histoire générale de la science du sol, nous essaierons maintenant de dégager les caractères dominants des recherches actuelles de l'*école française*. Nous avons vu une forme de pensée particulière s'édifier sur la base d'un réalisme fondamental, transposer les principes de causalité et de déterminisme, s'inspirer des schémas évolutionnistes. Dans la science du sol, cela a constitué la « *pensée génétique* ». Nous soutiendrons qu'elle imprègne profondément toutes les études de pédologie générale de l'école française, si l'on veut bien exclure de la pédologie générale les travaux expérimentaux, les traitements statistiques, etc., dont les règles opératoires sont nécessairement en accord avec la méthodologie nominaliste. Il est probable que les chercheurs, pour la plupart, n'imaginent pas que cette pédologie générale puisse être autre que génétique. Quels seraient ses buts scientifiques, s'il fallait lui interdire d'expliquer ou ce qui revient au même, de décrire des genèses ? Le langage habituel traduit bien cette optique. Les mots « genèse », « formation », « origine », « histoire », « dynamique », qui ont des significations apparentées, le mot « pédogenèse », se trouvent partout. La pensée génétique voit dans la science d'un côté les faits, et de l'autre côté les interprétations. Les « faits », les « données », ont ici toute leur pesanteur. On est loin de dire avec BACHELARD que tout fait est imprégné de théorie, ou de reconnaître le caractère souvent subjectif des observations (24). Les publications récentes ne manquent pas d'illustrations à nous donner sur les manifestations de la pensée génétique. Nous en chercherons quelques-unes, tout simplement dans les Tables des Matières de certains ouvrages récents. La troisième et dernière partie de la thèse de A. RUELLAN (*) est intitulée « l'interprétation pédogénétique des faits ». On ne saurait dire avec plus de concision que la réalité pédologique se manifeste par des faits objectifs et qu'il faut révéler sa genèse. Les différentes rubriques de cette troisième partie font apparaître de nouvelles expressions typiquement génétiques, « la formation au cours du quaternaire... », « les mécanismes de la mise en place... », « les mécanismes de l'enrichissement en calcaire », « les mécanismes de la salinisation », « les étapes du développement... », « l'évolution des minéraux... », « l'enchaînement des mécanismes... ». La thèse de R. FAUCK (**) est aussi signi-

(*) RUELLAN (A.) - 1971 - Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc Oriental). *Mém. ORSTOM*, n* 54, 302 p.

(**) FAUCK (R.) - 1971 - Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale. Thèse Fac. Sci. Strasbourg, 377 p., *multigr.*

ficative. Pour étudier l'argilification par exemple, elle considère d'abord « les faits » puis « les mécanismes possibles », de même que la différenciation des horizons supérieurs est présentée d'abord par « les faits » avant que ne soient envisagés « les facteurs et les mécanismes de l'appauvrissement ». Dans l'ouvrage de M. LAMOUROUX (*) cette fois, la table des matières nous apporte les mots-clés « facteurs », « données », « faits d'observation », « mécanismes », « dynamique », « évolution », et des expressions redoublées telles que « sens de la dynamique de l'évolution », « évolution en fonction des milieux pédogénétiques ». La pensée génétique ne s'offre pas toujours aussi facilement au premier examen d'un sommaire, mais elle ne tarde généralement pas à apparaître à la lecture des textes complets. Les travaux de pédologie générale ont presque toujours l'ambition de conduire, suivant la belle expression de P. ROUTHIER (82), « *de l'objet à la genèse* ».

La pensée génétique de la science du sol devient typiquement *évolutionniste* lorsqu'elle veut découvrir les stades, les étapes, de processus plus ou moins complexes. La démarche peut s'appliquer aux sols considérés dans leur totalité. C'est ce qu'a fait P. QUANTIN (**) sur un cas particulièrement intéressant, qui lui permet une approche de la « pédogenèse initiale ». Il existe en effet des andosols sur des roches volcaniques dont les âges s'étagent au cours du quaternaire. Ces roches s'altèrent rapidement, elles donnent d'abord des allophanes amorphes que la « cristallogenèse » peut ensuite transformer en argiles cristallines. Il est possible de reconstituer l'histoire de sols diversement développés morphologiquement, et différemment évolués quant à leurs constituants minéraux. Une démarche analogue, recherchant la filiation possible entre plusieurs types de sols, a été suivie par R. MAIGNIEN (***). Les sols bruns eutrophes tropicaux sont présentés comme des formations « en tête d'une évolution ». Ils peuvent conduire, suivant les conditions dans lesquelles ils sont placés, aux sols ferrugineux tropicaux ou aux sols ferrallitiques.

Il est évident que *la pensée génétique et l'esprit de classification* s'unissent étroitement lorsque l'on prétend, comme cela est le cas pour l'école française, établir un *système morphogénétique*. Dans une entreprise de classification de cette sorte, les interprétations évolutionnistes évoquées au paragraphe précédent se manifestent souvent. La classification a tendance à privilégier ce qui est supposé représenter l'évolution actuelle, pour reléguer à un rôle secondaire ce qui est hérité. C'est ainsi que les caractères du matériau pédologique, s'ils sont déterminés par la roche, n'apparaissent dans la classification française qu'au cinquième niveau taxonomique (Famille). Des sols très sableux seront admis parmi les sols ferrallitiques, si l'on reconnaît que la faible quantité de matière silicatée présente subit quant à elle une évolution ferrallitisante. Inversement, un vieux sol ferrallitique, soumis actuellement à un climat devenu sec, sera classé parmi les sols ferrugineux tropicaux, sa dynamique actuelle n'étant plus ferrallitique. Rappelons aussi que certaines sciences, dont l'histoire est ancienne, ont d'abord consacré une longue période aux inventaires et à la taxonomie avant d'aborder l'étude des genèses. Par contre, la science des roches a entrepris à peu près simultanément les deux opérations, mais il y a maintenant longtemps que les problèmes de description et de nomination proprement dits n'ont plus pour elle beaucoup d'acuité. Il en est tout autrement dans la science du sol. Son histoire est courte. L'étude des genèses et l'établissement des classifications ont été et sont toujours menés conjointement. Les problèmes taxonomiques ne sont pas stabilisés. La pédologie représente peut-être le seul cas d'une science de la nature qui ne soit pas parvenue à unifier son langage et qui

(*) LAMOUROUX (M.) - 1972 - Étude de sols formés sur roches carbonatées. *Mém. ORSTOM*, n* 56, 266 p.

(**) QUANTIN (P.) - 1974 - Hypothèses sur la genèse des andosols en climat tropical : évolution de la « pédogenèse initiale » en milieu bien drainé, sur roches volcaniques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 12, 1, pp. 3-12.

(***) MAIGNIEN (R.) - 1963 - Les sols bruns eutrophes tropicaux. *Sols Africains*, 8, 3 pp. 485-490.

comprenne des écoles nationales aussi nettement séparées. Ceci constitue sans doute un fait majeur de l'histoire de la science du sol. Ces problèmes ont déjà été discutés par ailleurs (24).

L'étude des pédogenèses a, parmi d'autres caractères notables, celui d'édifier *des concepts assez variables*. Deux attitudes épistémologiques sont possibles face à la fluctuation de certaines interprétations génétiques. Un nominalisme strict se sentira justifié au regard de cette instabilité, et confirmera le doute fondamental qu'il porte aux méthodes de la pensée génétique. Au contraire, dans la perspective d'une dialectique rationaliste bachelardienne, le mouvement des idées pourra apparaître comme le signe d'une recherche et d'un progrès véritables. Nous ne porterons pas les débats aussi haut, mais il nous semble nécessaire d'envisager au moins très simplement le problème. Sans porter vraiment de jugement de valeur, nous pourrons admettre que les interprétations génétiques sont confirmées dans la mesure où elles se maintiennent sans être démenties ou contestées. Pour les concepts dont ce n'est pas le cas, nous distinguerons deux sortes de variabilité. Il arrive que certaines interprétations soient complètement remises en cause, et même que des théories contradictoires aient simultanément cours, sans parvenir à se départager. Un exemple typique de cette situation embarrassante a été donnée par l'étude des « stone-lines » ou « nappes de gravats » et de leurs « recouvrements », dans les sols tropicaux. Les interprétations concurrentes qui ont prétendu rendre compte de ces formations ont été passées en revue par J. Vogt (*). Deux grandes théories, autochtonie et allochtonie, se sont elles-mêmes décomposées en plusieurs variantes. Pavages désertiques, épandages alluviaux, actions éoliennes, recouvrements colluviaux, remontées par la faune, ont été invoqués dans l'hypothèse allochtoniste. Les remaniements sur place, la descente des produits grossiers, les ségrégations réalisées par la faune, proposent autant de mécanismes possibles dans le cas d'une origine autochtone. Ces débats ne constituent pas des jeux gratuits. Ils se répercutent directement sur les classifications pédologiques. D'un point de vue pratique, ils ont une incidence sur la recherche des terres agricoles, et sur les prospections minières par géochimie de surface.

Une nouvelle cause de variabilité est inhérente au perfectionnement, au progrès des théories génétiques. L'altération peut être prise tout d'abord pour une hydrolyse, avec dépôt sur place des insolubles. Cette première proposition sera suffisante aussi longtemps que nous ne verrons que des épigénies de feldspaths en gibbsite, de ferromagnésiens en goethite. Lorsque l'on découvrira par exemple des biotites pseudomorphosées en gibbsite (26), il faudra imaginer (ou découvrir) toute une série de nouveaux processus dont les interactions complémentaires ou antagonistes viendront compliquer la première image de l'altération. La micromorphologie des sols donne elle aussi des exemples de théories sans cesse retouchées. Certains traits micromorphologiques ont tout d'abord été pris pour les figures classiques de l'illuviation. Il est apparu ensuite que des figures analogues peuvent être obtenues par des compressions, par de simples alternances d'humidification et de dessication, et peut-être même par l'altération de certains minéraux. Considérant maintenant les recherches sur les sols ferrallitiques dans leur déroulement historique, nous pourrions soutenir à titre de paradoxe qu'elles ont eu pour but commun la réfutation du principe de zonalité. Rappelons que ce principe met en relation directe l'intensité de la ferrallitisation et le régime climatique. Les cas où la relation attendue s'inverse en fonction de facteurs lithologiques, topographiques, chronologiques, se sont multipliés avec les études. Des roches basiques, un fort drainage de position haute, une longue évolution sur une surface ancienne, déterminent l'apparition de grandes quantités de fer et d'aluminium même sous des climats peu humides. Au contraire, malgré une grande agressivité climatique, la ferrallitisation restera peu intense sur des roches acides, dans des positions mal

(*) Vogt (J.) - 1966 - Terrains d'altération et de recouvrement en zone intertropicale. Le complexe de la stone-line. Mise au point. *Bull. Bur. Rech. Géol. Min.*, 4, 3, pp. 3-51.

drainées, sur des surfaces récentes. Certains auteurs ont aussi soutenu (26) que l'alumine s'individualise plus dans les sols de savane (saisons alternées) que dans les sols de forêt (climat toujours humide). L'inversion par rapport à la première relation zonale serait donc complète. *Ainsi procède la pensée génétique, de rectification en rectification, d'un démenti à l'autre.* Il reste parfois peu de chose de l'interprétation initiale.

Aussi ambitieuse soit-elle, *la pensée génétique* connaît *certaines limites*. Elle utilise des schémas causalistes, mais il n'apparaît pas toujours possible de dégager causes et effets dans une nature trop complexe. Certains problèmes peuvent être correctement posés sans pour autant trouver de solution, tout au moins à un moment donné. La pensée génétique s'applique aisément à l'échelle des phénomènes paysagiques, ses principales limitations apparaissent plutôt au niveau des organisations de petite taille. Le terme « pédoturbation » est récent en tant que mot. Considéré dans le sens le plus large, il traduit pourtant une notion qui a sans doute joué, de façon négative, un très grand rôle dans l'étude des sols. Peut-être parlerait-on en d'autres sciences de « bruits de fond » ou de « relations d'incertitude ». Pour la science du sol, les sources de turbations sont nombreuses, elles peuvent se situer dans toutes les actions biologiques, dans tous les mouvements mécaniques se déroulant au cours du temps pédologique. Ces pédoturbations multipliées peuvent donner à certains sols des traits morphologiques inintelligibles. Nous illustrerons ceci par un premier exemple qui nous ramènera vingt ans en arrière dans l'étude des sols tropicaux. En étudiant à cette époque les accumulations de gravillons latéritiques, de blocs cuirassés, et de cailloutis divers que certains dénommaient nappes de gravats, les pédologues cherchaient encore les preuves décisives d'une origine allochtone ou autochtone des formations superficielles. Faire l'unanimité de la communauté pédologique sur une hypothèse générale eut déjà constitué un beau résultat. Parmi les formations cuirassées, la multiplicité des formes semblait aussi être la règle, malgré quelques relations reconnues entre le milieu de formation et les faciès pisolitiques ou vacuolaires. La variabilité du concrétionnement, les pédoturbations venant brouiller la disposition des éléments grossiers, paraissaient s'unir pour créer un contexte d'incertitude. Il eut alors paru déraisonnable de pousser très loin la théorie, en interprétant la morphologie des formations de surface par le détail, pour en tirer toutes les conséquences possibles. En 1954, un pédologue, qui étudie comme l'a fait P. H. NYE (72) les « creep horizons » et les « sedentary horizons », reste dans des limites prudentes. Les géologues ne devaient sans doute pas ressentir la même incertitude devant des formations naturelles. Rien ne paraissait devoir leur interdire d'appliquer des principes qui réussissent si bien dans la reconstitution de l'histoire des roches. Aussi est-ce avec assurance que le géologue W. BRÜCKNER (*) étudie en 1955 des profils latéritiques complexes dans lesquels il distingue les principaux niveaux suivants, « rotten rock », « breccia », « lower loamy sand », « lower stone layer », « limonitic crust », « upper stone layer », « upper loamy sand », « top layer ». Pour illustrer la méthode de l'auteur, nous noterons qu'il identifie dans la couche graveleuse supérieure des éléments provenant des niveaux sous-jacents, qu'il reconnaît des éléments éolisés et altérés. Voici donc trois processus, érosion et remaniement, action éolienne, altération chimique en milieu humide, qui ne pouvaient être contemporains. La croûte ferrugineuse cimente les débris d'une croûte plus ancienne, qui a été physiquement désagrégée, puis altérée et lessivée. Ces interprétations poursuivies sur la totalité des profils, BRUCKNER (**) pouvait retracer toute l'histoire des formations superficielles par deux ou trois cycles climatiques successifs, suivant les cas. Chaque étape de ces cycles est mise en relation avec une figure morpho-

(*) BRUCKNER (W.) - 1955 - The mantle rock (laterite) of the Gold Coast and its origin. *Geol. Rundsch.*, 43, 2, pp. 307-327.

(**) BRUCKNER (W.) - 1957 - Laterite and bauxite profiles of West Africa as an index of rythmical climatic variations in the tropical belt. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 50, 2, pp. 239-256.

logique des sols. Tout cela pouvait paraître prématuré aux yeux de la communauté pédologique de l'époque. Les pédologues, nous l'avons dit, hésitaient à interpréter des formations entachées de variabilité et soumises à toutes les pédoturbations. Nous n'indiquerons ici que quelques jalons de leur démarche, assurément plus prudente et plus méthodique, mais aussi plus lente, que celle que nous venons d'examiner. Les mécanismes des mouvements de masse, des remaniements, constituaient toujours en 1969 un sujet à étudier (*). C'est encore plus récemment (**) que les différents faciès cuirassés ont été suffisamment connus pour servir de « témoins » ou de « traceurs » dans la reconstitution des épisodes pédogénétiques.

Nous avons déjà dit (24) combien il était étonnant de voir la micromorphologie faire actuellement figure, pour la science du sol, de méthode nouvelle. Par quel déphasage entre disciplines se fait-il que le microscope optique, l'outil le plus banal de tous les naturalistes, ait été si tardivement utilisé en pédologie ? Plusieurs réponses sont sans doute possibles. Nous soutiendrons quant à nous que la pensée génétique a pendant longtemps cru se trouver devant une barrière, située au niveau des organisations de petite taille constituant maintenant le sujet de la micromorphologie. Devait-on espérer comprendre, avait-on le droit d'interpréter des figures que n'importe quelle radicelle, quel vers, ou quel termite, pouvaient bouleverser ? Il devait y avoir là une nature foncièrement désordonnée. Dans un passé déjà lointain, il y a certainement eu quelques chercheurs pour observer les sols à la loupe ou au microscope. Néanmoins, c'est W. L. KUBIÉNA qui est reconnu comme l'initiateur de la micromorphologie des sols. Il fallait sans doute un esprit réaliste aussi vigoureusement affirmé que le sien (pages précédentes) pour pénétrer dans ce nouveau milieu. Là où aurait pu régner cette forme pédologique du désordre que constituent les pédoturbations, KUBIÉNA a prétendu trouver, comme ailleurs, des phénomènes intelligibles gouvernés par des lois. A sa suite, les travaux se sont multipliés avec des méthodes et un langage renouvelés. C'est KUBIÉNA qui a ouvert la voie à cette pensée génétique qui s'épanouit actuellement dans l'utilisation des faits micro-pédologiques. S'il faut l'illustrer par des exemples, nous proposerons les travaux de N. FÉDOROFF (***) ou de G. BOCQUIER (13). Le lecteur y trouvera de vastes reconstitutions génétiques, parties de l'observation microscopique, qui atteignent la dimension des paysages.

Ainsi, la pensée génétique bute parfois longtemps sur certaines barrières. Nous avons donné deux exemples de ces *limitations purement conceptuelles* qui ne proviennent d'aucune insuffisance des techniques d'analyses. Le premier concernait l'étude des formations latéritiques indurées et remaniées, le second l'étude des organisations microscopiques des sols. Il est aisé de trouver de tels épisodes dans le passé. Il serait beaucoup plus difficile, mais combien plus fructueux, de découvrir les obstacles épistémologiques actuels qui peuvent être surmontés...

(*) Voir les articles de J. COLLINET, A. LEVÊQUE, J. RIQUIER, P. SEGALEN, dans le n° 1 du vol. 7 des *Cah. ORSTOM sér. Pédol.* 1969.

(**) BOULANGÉ (B.), DELVIGNE (J.), ESCHENBRENNER (V.) - 1973 - Description morphoscopique, géochimique et minéralogique des faciès cuirassés des principaux niveaux géomorphologiques de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* 5, 1, pp. 59-81.

(***) FÉDOROFF (N.) - 1969 - Les pédogénèses quaternaires en France. Lab. Géol. Pédol., ENSA. Grignon, 20 p. *multigr.*

LES NOUVELLES APPROCHES

Il n'existe malheureusement pas de recettes qui puissent indiquer comment discerner ces obstacles épistémologiques, et dire comment les dépasser. Tout au plus peut-on à ce sujet formuler quelques conseils, et en premier lieu celui de *sortir d'une spécialisation trop étroite*, pour chercher en d'autres secteurs du savoir contemporain l'exemple de nouveaux modes de pensée. C'est ce que nous essaierons de faire très rapidement en retenant quelques points de comparaison ou de confrontation valables pour la science du sol, et sans prétendre à une analyse, qui ne pourrait être ni originale ni complète, de l'épistémè scientifique contemporaine. Nous avons appris que la science progresse toujours par des « sauts épistémologiques » (4), ou ce qui revient au même, par des « révolutions » (60). Aussi peut-on poser, *a priori*, une question fondamentale. La pensée génétique paraît être la caractéristique dominante de la pédologie française actuelle. La prochaine vraie révolution, celle qui fera accomplir un progrès général, ne marquera-t-elle pas inéluctablement *la fin et le dépassement de cette pensée génétique ?*

Depuis toujours, la physique a exercé une influence considérable, sur les autres sciences, et sur la pensée générale ou les idéologies de chaque époque. Nous n'échapperons pas ici à son attraction, et nous la prendrons comme point de départ d'une recherche des nouvelles démarches qui, peut-être, transformeront la science du sol. Si nous voulons retracer son histoire en quelques mots seulement, nous dirons que la physique a d'abord connu un épisode « mécaniste », caractérisé par un déterminisme absolu de style laplacien. Elle est ensuite passée par une époque « probabiliste », ouverte par la thermodynamique. Actuellement enfin, elle paraît dominée par les « relations d'incertitude » de la mécanique quantique. Rappelons que la microphysique donne une nouvelle notion de l'objectivité, en reconnaissant que le fait expérimental n'est pas indépendant des instruments de l'observation. Le principe d'indétermination établit l'impossibilité de définir, à la fois, et avec la même précision, la vitesse et la position de certaines particules. Ces théories et leurs incidences philosophiques ont été exposées par W. HEISENBERG (48) lui-même pour le plus large public.

En mettant en cause les principes de déterminisme et de causalité, la mécanique quantique a ouvert un procès qui intéresse toute la science. Est-ce en raison de son influence directe, ou y a-t-il convergence de réflexions indépendantes ? Toujours est-il que le procès s'élargit bien au-delà de la microphysique. Voyons d'abord ce qui se passe dans une perspective épistémologique générale. W. HEISENBERG (48) a compris que pour pénétrer dans le domaine de la physique atomique, il lui fallait se débarrasser des schémas que le sens commun et le langage usuel tendent à imposer à la science. Nous avons déjà cité certains de ses propos, par lesquels il déclare l'impossibilité pour la mécanique quantique de répondre à des questions posées dans les termes du sens commun ou de la physique classique. Le langage courant exerce sur la science une action, longtemps restée clandestine, mais enfin reconnue. G. BÉNÉZÉ (6) a expliqué ses mécanismes. Le langage présente le « sujet » comme un « absolu », qui révèle des qualités inhérentes tenues pour ses « attributs », ou qui apparaît comme la « cause » de ses actions. Les structures grammaticales et les analyses que l'on en donne, ont beaucoup d'analogie avec les représentations causalistes. « L'origine de la notion de causalité est métaphysique », tout autant que l'origine des notions grammaticales de sujet et d'attribut (*). La logique moderne

(*) La notion de causalité n'est pas liée seulement aux structures du langage. Elle s'enracine profondément dans la psychologie humaine. G. BACHELARD (L'Air et les Songes, p. 109) a rappelé les rapports entre la notion de causalité et celle de culpabilité.

montre d'ailleurs que l'on peut se débarrasser du type de liaison habituel entre sujet et attribut. Retenons enfin, avec BÉNÉZÉ, « la défaveur justifiée où est tombée l'expression de causalité, qui n'appartient plus qu'au langage courant ». La critique du déterminisme s'appuie sur d'autres arguments. A. RÉGNIER (79) fait d'abord remarquer que toute science construit des « modèles » des objets étudiés. Il ajoute que les propriétés des modèles établis par la science ne devraient pas toutes êtres attribuées aux objets réels. « Le fait qu'un modèle soit déterministe ne prouve pas l'existence du même déterminisme dans le réel ». « L'illusion qu'ont certains de croire le réel rationnel », ajoute RÉGNIER, « provient de cette obligation où nous sommes de faire des modèles rationnels ». C'est presque dans les mêmes termes que J. PIAGET (77) soulève le problème « de la nature de la causalité et plus précisément (celui) des rapports entre les structures logico-mathématiques utilisées dans l'explication causale des lois et les structures supposées du réel ». Ces idées sont maintenant largement répandues. C'est tout naturellement, semble-t-il, qu'un auteur comme J. FOURASTIÉ (*) peut affirmer que les notions de causes et de lois ont vieilli, et que « cette croyance en l'ordre de l'univers (lui) paraît une affirmation à la fois aventurée et superflue ».

Une analyse aussi simplifiée que la nôtre pourrait donner à penser que l'esprit nominaliste tel que nous l'avons présenté plus haut est en pleine expansion. Nous soutiendrons que ce n'est pas ainsi qu'il faut considérer l'évolution actuelle. L'esprit nominaliste sous ses vieilles formules ne pouvait apparaître que comme un frein à l'activité rationnelle de la science. Conseillant la prudence, face à une raison univoque, il se bornait à fixer des limitations. Or actuellement la logique et d'une façon plus générale la raison ont appris à se renouveler et à multiplier leurs règles (**). Les relations d'incertitude ont enrichi la physique plus qu'elles ne l'ont appauvrie. Les explications causalistes ne sont plus seules reconnues par la science, et lorsqu'il y a recul de certaines d'entre elles c'est au profit de nouveaux schémas. *C'est toute une méthodologie nouvelle qu'élabore la science contemporaine.* Sans doute est-il difficile de la caractériser. Certains auteurs comme J. PIAGET (77) unifient les nouvelles tendances qui se manifestent de la physique et même des mathématiques jusqu'aux sciences humaines sous la bannière du Structuralisme. Ce terme est une source de fréquentes polémiques, beaucoup le récusent, mais le renouvellement méthodologique lui-même n'est guère contestable. Notons d'ailleurs rapidement que l'on parle plus volontiers de structuralisme à propos des sciences humaines que pour celles de la nature. Pour ces dernières, la « théorie générale des systèmes » (8) et la « cybernétique » (100) apportent des méthodes précises qui permettent un changement épistémologique complet. Il ne s'agira plus de prétendre à une vision intérieure du réel et à sa compréhension (ambition réaliste), non plus que de se satisfaire d'une compilation plus ou moins bien ordonnée des faits d'observation (anciennes méthodes nominalistes). A l'aide de structures logico-mathématiques, il est devenu possible d'établir des modèles analogiques du réel, et de simuler son fonctionnement. Une connaissance véritablement dynamique, ou fonctionnelle, est obtenue. Formés de structures emboîtées, les organismes les plus complexes sont isomorphes à des assemblages de signes constitués en messages. « Aujourd'hui, le monde est message, code, information » (56). C'est ce qui permet à la théorie générale des systèmes de se présenter comme une grammaire générale des sciences.

Ainsi, *les concepts causalité-genèse-historicité* sont incriminés d'une façon générale par la science contemporaine, alors qu'ils semblaient parvenir à maturité dans le cas de la pédologie.

(*) FOURASTIÉ (J.) - 1970 - Les conditions de l'esprit scientifique. Gallimard, 254 p.

(**) La pluralité des rationalismes est un thème souvent repris par G. BACHELARD. Sur la multiplicité des systèmes logiques, sur l'abandon par certains d'entre eux du fameux principe du tiers exclu, le lecteur pourra consulter par exemple les livres de R. BLANCHÉ ou M. L. ROURE (P.U.F.).

Devant les bouleversements épistémologiques, certaines sciences réagissent plus vite que d'autres. Nous avons déjà eu l'occasion de souligner le parallélisme entre des tendances qui ont cours, ou qui ont eu cours, dans la science du sol et dans certaines sciences humaines (24). Ces dernières aussi ont subi l'influence des théories évolutionnistes du siècle précédent. Elles ont été génétiques et diachroniques, avant de devenir structurales et de dénoncer « le privilège exorbitant de l'historicité ». Ces changements complets de perspective, réalisés surtout par la linguistique et l'anthropologie, sont trop connus pour que nous nous permettions d'insister sur ce sujet. Les domaines plus proches du nôtre montrent aussi bien des signes de changement. Voici par exemple comment R. BRUNET (19) décrit l'évolution de la géographie. La notion de loi, liée à un déterminisme trop rigide, est relayée par les relations de probabilité. Après avoir sous-tendu tant d'études dans le passé, le finalisme sera attentivement éliminé, de même que les raisonnements routiniers de style aristotélicien ou cartésien. La méthode analytique classique, qui se contente d'isoler et de considérer séparément les éléments des complexes naturels, est devenue insuffisante. C'est une démarche dialectique (nous reviendrons sur ce sujet plus loin), apte à saisir des totalités et à dégager leurs discontinuités, qui prend sa suite. Les propositions de BRUNET s'arrêtent là, mais il ne nous reste qu'un pas à faire pour aller de la considération des totalités au rappel des méthodes cybernétiques, et nous aurons retrouvé tous les éléments de la nouvelle épistémè décrite plus haut. En géologie, P. ROUTHIER (82) a formulé des critiques qui ne peuvent manquer d'éveiller des échos chez les spécialistes du sol. « Ici, comme en bien d'autres domaines, l'introduction trop hâtive de concepts génétiques dans le langage et la classification n'a fait qu'introduire la confusion ». « En paraissant supposer les problèmes résolus, le langage génétique les dissimule ». Citons encore ROUTHIER lorsqu'il remarque que « la plupart, sinon la totalité des critères morphologiques de succession des minéraux, se révèlent aujourd'hui discutables ou erronés ». En se souvenant de toutes les interprétations tirées de ces successions ou plutôt de ces juxtapositions minérales, le lecteur mesurera tout le contentieux qui figure au dossier de la pensée génétique.

Dans la science du sol, la pensée génétique récolte actuellement ses plus beaux succès. Pour beaucoup de chercheurs, elle dessine une voie royale qu'ils ne songeraient pas à quitter. Pourtant nous avons pu dire (24) qu'elle paraît déjà périmée à bien des égards dans le contexte scientifique contemporain. Elle est trop fortement liée à des notions causalistes et à des présupposés réalistes. Non seulement ses postulats épistémologiques sont remis en cause, mais les méthodologies capables de la relayer sont prêtes. *Certains pédologues sont déja engagés dans les nouvelles directions*. J. SCHELLING (89) par exemple cherche à utiliser les notions de systèmes clos et ouverts, et à établir des modèles. A son tour, J. C. DIJKERMAN (32) traite le rôle des données, des modèles, des théories, dans l'étude des systèmes naturels que constituent les sols. Ce faisant, il présente la pédologie « comme une science » (pedology as a science). La rupture avec la pédologie antérieure (constituait-elle une vraie science ?) est bien marquée. Il n'y a pas à s'y tromper.

Chapitre trois

LA MÉTHODE

Il arrive parfois dans le cours des sciences que la méthodologie de la recherche soit analysée et enseignée. Cl. BERNARD (7) par exemple a donné sur la méthode expérimentale employée en médecine et en biologie des leçons devenues célèbres. Cela reste pourtant l'exception. Au procès général de l'enseignement des sciences figure l'accusation de ne présenter souvent que des résultats ou des théories, en oubliant les chemins parcourus pour les obtenir. Il semble que cela soit ce qui se passe le plus fréquemment dans l'enseignement de la science du sol. Sans doute décrit-on certaines pratiques, en particulier toutes celles qui, devant se prêter à des traitements statistiques, ont des exigences strictes sur le plan de l'échantillonnage ou des répétitions. Il existe aussi des données expérimentales que l'on ne peut guère présenter sans référence à l'appareillage constitué pour les obtenir. On ne fera comprendre les altérations artificielles réalisées par G. PÉDRO (*) qu'en décrivant d'abord le dispositif des soxhlets. Néanmoins, ces exposés méthodologiques sont limités. La partie la plus générale ou la plus abstraite du savoir est donnée à ceux qui doivent la recevoir, et non re-construite devant eux. Le plus connu des manuels ou traités de pédologie rédigés en langue française est sans doute celui de Ph. DUCHAUFOUR (36). La méthodologie n'y a que peu de part. Nous y trouvons par exemple un bel enseignement sur les sols du globe, mais peu d'indications sur les moyens d'édifier une pédologie géographique. La méthodologie générale de la science du sol paraît être l'affaire de chaque chercheur, qui a toute liberté pour la redécouvrir ou la réinventer, de façon plus ou moins consciente et explicite. Chacun réalise cette opération, en entrant dans le détail des travaux de ses devanciers, et par sa réflexion personnelle.

Une méthodologie bien établie, parfaitement assimilée par les spécialistes, facilite évidemment le travail scientifique. Sans doute faut-il se garder de la codifier abusivement, car elle doit rester capable de perfectionnement et de renouvellement. Cette réserve faite, il paraît utile de bien posséder la méthodologie, et de pouvoir attribuer à chacune de ses pratiques un juste coefficient de certitude. Nous verrons en effet plus loin, dans le cas de la science du sol, que les interprétations ou les théories s'édifient avec des éléments qui méritent souvent des degrés de confiance très inégaux. La géologie nous donne l'exemple, probablement le plus proche de nos préoccupations, d'une science à la méthodologie confirmée depuis longtemps, constituant en quelque sorte un héritage intellectuel commun à tous les géologues (**). Questionné à ce sujet, n'importe quel géologue pourrait probablement, sans longue réflexion, parler des principes de superposition, d'isomorphie, des causes actuelles, etc. Aussi a-t-on vu

(*) PÉDRO (G.) - 1964 - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. *Annales Agronomiques*, 2, 3, 4, pp. 85-456.

(**) Ceci ne veut pas dire que des remises en causes ne soient pas nécessaires, comme celles faites par exemple par R. ROUTHIER (op. cit.).

des géologues transposer leurs méthodes et entreprendre avec assurance l'étude de certains problèmes pédologiques. Nous avons déjà cité le cas de W. BRUCKNER interprétant des profils ferrallitiques complexes, et reconstituant leur histoire. La science des roches est en effet souvent historique, elle a appris à déchiffrer le passé suivant les principes de la stratigraphie. Rappelons aussi que les formations superficielles sont devenues depuis peu pour elle un sujet d'étude familier. Dans les pays tropicaux humides notamment, les géologues « altéreurs » ont accumulé les résultats. Ils disposaient en effet pour cela d'une méthodologie toute prête, car ils étaient parfaitement familiarisés avec les problèmes posés par les successions de minéraux, les pseudomorphoses, les épigénies.

Les difficultés méthodologiques sont particulièrement ressenties par les chercheurs placés devant de nouveaux champs d'investigation. Le domaine tropical était, il n'y a pas très longtemps encore, l'un de ceux-ci. Il est probable que beaucoup de pédologues tropicalistes qui liront ces lignes retrouveront dans leurs souvenirs les hésitations et les incertitudes de leurs débuts. La méthodologie pédologique s'est maintenant perfectionnée, et elle s'est clarifiée. Dans un ouvrage récent, J. BOULAINE (17) propose de la considérer en s'appuyant principalement sur le concept de loi. Il distingue alors, dans la science du sol, des « lois de corrélation », des « lois de composition », des « lois de genèse », des « lois de causalité immédiate » et enfin des « lois de comportement ». Un schéma général montre l'articulation de ces lois avec les « faits », les « hypothèses », les « expériences » et les « théories ». Sous des termes différents, nous ferons réapparaître plus loin certaines liaisons impliquées par ce schéma.

Terminons ces préliminaires sur une autre remarque. Nous nous proposons de ne traiter que les procédés employés suivant les perspectives de la « pensée génétique », telle que cette dernière nous est apparue dans les travaux passés ou contemporains. Notre analyse sera récurrente. Nous réservons pour le dernier chapitre la présentation des méthodes nouvelles (*).

LES PRATIQUES OPÉRATOIRES

La pédologie peut être présentée comme science « empirique ». Il doit être possible de distinguer ce qu'elle acquiert par « induction » de ce qu'elle obtient par une démarche « hypothético-déductive ». Sans doute aussi peut-on chercher à voir comment elle adapte à ses propres problèmes le canevas reconnu par Cl. BERNARD et que G. BÉNÉZÉ (6) dénomme « cycle élémentaire de la méthode expérimentale » : observation - conjoncture - hypothèse - prévision - confirmation. C'est ce que fait J. BOULAINE (17) lorsqu'il décrit « la méthode expérimentale en pédologie ». Mais ce n'est pas ainsi que nous allons aborder les problèmes méthodologiques. Délaissant ces premiers concepts et notamment celui de loi qui nous semblent relever d'une épistémologie très générale, nous commencerons par recenser les moyens, les opérations, les procédés, qui nous semblent les plus couramment employés en science du sol. Nous les dénommerons conventionnellement « *pratiques opératoires* », sans nous soucier de leur statut épistémologique, et sans chercher à les décomposer en opérations logiques élémentaires. Notre analyse sera celle que peut faire tout spécialiste du sol, dans le cadre d'une critique interne.

(*) La nouveauté apparaîtra surtout sur le plan méthodologique, les buts poursuivis pouvant rester les mêmes.

Nous décrirons ces différentes pratiques opératoires, ou tout au moins celles d'entre elles qui nous semblent les plus significatives, sous les rubriques suivantes :

— la recherche comparative,
— les successions,
— les formes organisées et les indicateurs,
— les bilans,
— la dynamique actuelle,
— l'expérimentation.

La recherche comparative

C'est probablement la voie que la science du sol a empruntée le plus fréquemment jusqu'à présent. Dans les premiers stades d'une science, lorsque sont réalisés des inventaires, la comparaison des données paraît être la démarche la plus naturelle. C'est ainsi que s'est édifié le premier grand principe de la pédologie, celui de la zonalité, par la comparaison de sols de milieux géographiques différents, chernozem dans les steppes et podzol dans les forêts boréales. La méthode comparative reste souvent qualitative, mais elle peut aussi arriver à des formulations mathématiques. Elle peut s'appliquer à des situations simples ou complexes. Nous essaierons maintenant de décrire ces différentes variantes :

— les analyses les plus simples,
— celles qui réunissent plusieurs paramètres,
— les comparaisons générales entre sols.

Nous présenterons donc en premier lieu *les analyses factorielles simples*. Elles permettent de comparer les variations de deux paramètres liés l'un à l'autre. Il s'agit souvent de relations entre un caractère du sol et l'un de ses facteurs externes de formation, ou de deux caractères pédologiques qui réagissent entre eux. On comparera par exemple les taux d'argile de sols ayant différentes roches-mères, ou bien les teneurs en matière organique d'horizons superficiels plus ou moins argileux, ou bien les stabilités structurales de matériaux diversement pourvus en fer, ou bien les couleurs de sols de haut et de bas de pente, etc. Les exemples pris parmi les études pédologiques proprement dites pourraient être multipliés. Les travaux à caractère plus agronomique sont eux aussi très souvent comparatifs. Ils posent généralement le problème d'un choix à faire entre différents traitements dont les valeurs relatives doivent être testées. Ainsi compare-t-on les divers procédés qui permettent d'augmenter le contenu organique du sol, d'améliorer sa structure, etc. Les expérimentations de laboratoire enfin, que leur sujet soit d'ordre pédogénétique ou non, identifient les facteurs de formation ou de réaction, puis les comparent. C'est le cas par exemple du travail réalisé par G. PÉDRO et ses collaborateurs (*) sur l'altération artificielle des roches. Les comparaisons portent sur l'influence de différents régimes hydriques et thermiques, sur les actions de l'eau pure, du gaz carbonique, d'acides organiques, sur le comportement de roches cristallines ou vitreuses, ultrabasiques, basiques ou acides, etc.

Les résultats obtenus par ces comparaisons de données couplées restent souvent purement qualitatifs. Il en est ainsi pour une grande partie des connaissances concernant les facteurs principaux de la pédogenèse, et notamment le facteur lithologique. D'un point de vue qualitatif, l'influence de la nature des roches sur la composition des sols peut être considérée comme bien connue. En comparant le comportement des roches acides et des roches basiques

(*) Donner une liste bibliographique de ces travaux serait beaucoup trop long. Nous renverrons simplement le lecteur à un résumé. (26).

en pays tropical, il apparaît que les premières donnent des matériaux kaolinitiques assez peu variables alors que les secondes ont une gamme d'évolution plus large, allant du pôle bisiallitique au pôle allitique. On sait également très bien quelles sont les roches qui donnent, dans les régions tempérées, les podzols, les sols bruns, les rendzines, etc. Au contraire des précédentes, lorsque les données considérées prennent des valeurs numériques, il devient possible de les relier par des expressions mathématiques. C'est encore aux sols tropicaux que nous emprunterons un exemple. L'étude comparée de l'altération sous différents régimes climatiques montre que l'alumine libre apparaît plus fréquemment ou en plus grande abondance dans les régions les plus humides. Cette remarque initiale a été complétée par plusieurs auteurs (T. TANADA, D. S. SIMONETT, voir 26) qui ont établi des équations de corrélation entre le total pluviométrique annuel et le rapport silice/alumine du sol, ce rapport donnant une mesure de l'importance des libérations et recombinaisons de l'aluminium. Il existe évidemment en science du sol une multitude d'autres cas où une connaissance qualitative, qui pouvait se présenter comme une comparaison entre termes différents, s'est trouvée remplacée par une relation mathématique.

Les comparaisons établies entre des couples de données, telles que nous les avons présentées, sont souvent insuffisantes. Les sols et leurs milieux de genèse constituent des systèmes essentiellement complexes dans lesquels les interactions sont multiples. Dans le cas du rapport silice/alumine que nous avons retenu comme exemple, il existe des régions où l'on a trouvé (L. GLANGEAUD, voir 25) des relations inverses de celles attendues. Aussi, beaucoup plus souvent qu'à des comparaisons simples, la science du sol procède à des *analyses factorielles complexes*, dans lesquelles plusieurs facteurs de différenciation sont considérés. Il est encore possible de traiter sous une forme graphique ou par des corrélations multiples un petit nombre de variables numériques. Par exemple, si les relations entre le rapport silice/alumine et le climat ne sont pas toujours bonnes lorsque l'on ne tient compte que de la pluviosité annuelle, elles s'améliorent par l'introduction d'un paramètre supplémentaire, celui de la température (P. SÉGALEN, voir 26). Mais on arrive très vite dans cette voie à compliquer les systèmes jusqu'au point de rendre la mathématisation impossible. Il faut alors se satisfaire de comparaisons qualitatives.

Pour exemple de cette nouvelle situation, nous prendrons la thèse de G. SIEFFERMANN (*) qui nous semble représenter particulièrement bien une démarche très fréquente en science du sol. Dans un pays volcanique tropical, SIEFFERMANN étudie la formation des sols en mettant principalement l'accent sur la différenciation des minéraux argileux. Les allophanes définissent les andosols, alors que lorsque dominent l'halloysite, la métahalloysite, la kaolinite désordonnée ou régulière, les sols sont dits ferrallitiques. La gibbsite est commune aux deux catégories de sols. Les limites pédologiques ne sont pas tranchées, il existe de multiples profils où les allophanes s'associent aux phyllosilicates cristallins. L'auteur cherche à définir les conditions de formation puis d'évolution des différents minéraux. Il ne peut prétendre à une approche directe des mécanismes impliqués, ces mécanismes étant d'ailleurs plus faciles à étudier dans des dispositifs expérimentaux que dans leur première apparition, comme cela peut se faire avec des lames minces taillées dans des roches en cours d'altération. Toutes les observations portent sur des horizons pédologiques, horizons C d'altération ou horizons B structurés et colorés. L'analyse de l'auteur s'établit en réalité sur une série de comparaisons. L'influence du temps sur la pédogenèse est estimée en comparant les sols développés sur les coulées basaltiques du quaternaire ancien et du quaternaire récent. Certains sols occupent des surfaces aplanies, d'autres des reliefs accidentés et même montagneux. La variable principale dont on suit l'influence sur

(*) SIEFFERMANN (G.) - 1969 - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Thèse, Fac. Sci. Strasbourg, 290 p. *multigr.*

la genèse des argiles et la formation des sols est celle du climat : les sols étudiés se trouvent soumis à des pluviosités allant de 1 000 à 12 000 mm.

Examinons rapidement sur un cas particulier, celui de l'halloysite, comment peut être envisagé le problème de la genèse des argiles. Il apparaît que l'halloysite est de plus en plus abondante vers les climats les plus secs. Ceci est attribué, très indirectement, à ce qu'une désionisation poussée (due à une pluviosité élevée) doit permettre l'édification de minéraux réguliers (kaolinite), alors que des solutions moins renouvelées (à plus grande charge ionique) conduiront à des espèces moins parfaites (halloysite). Une autre comparaison s'établit entre les horizons profonds et les horizons supérieurs, les premiers contenant relativement plus d'halloysite que les seconds. Il en est déduit que l'halloysite est susceptible de se transformer en un autre minéral kaolinitique, ou d'être détruite.

Une des principales hypothèses émises par SIEFFERMANN concerne le rôle des acides fulviques dans la formation, et surtout la stabilisation, des allophanes. Les complexes allophanes-acides fulviques invoqués, ne sont pas mis en évidence analytiquement, et leur stabilité n'est pas testée (*). L'auteur note que les allophanes ne sont abondants que dans les sols où la matière organique, favorisée par un climat particulièrement humide, est très abondante. Il faut aussi que les sols soient peu épais, et qu'ils puissent être entièrement sous l'influence de la matière organique. Il n'existe pas d'allophanes dans les altérations ferrallitiques profondes, pourtant abondamment alimentées en eau, mais totalement dépourvues d'acides fulviques. Dans ce deuxième exemple comme dans celui qui concernait l'halloysite, les problèmes posés par la genèse des minéraux sont traités en comparant des sites différents, répartis suivant une séquence verticale à l'intérieur des sols eux-mêmes, et suivant une séquence climatique.

Cette méthode de travail, nous l'avons dit, est courante en science du sol. Lorsqu'un auteur comme P. QUANTIN (**) présente ses résultats suivant des toposéquences, lithoséquences, climatoséquences, chronoséquences, il utilise un *canevas analytique comparatif* qui se propose de faire apparaître l'influence de chaque facteur.

Au plus haut niveau de complexité, nous situerons l'*analyse comparative générale*. Il n'est plus seulement question d'étudier successivement plusieurs processus. Les sols sont considérés dans leur totalité. Des couvertures pédologiques atteignant l'échelle régionale ou même continentale peuvent être comparées entre elles. C'est ce qu'a fait J. D'HOORE (***) pour les régions tropicales d'Afrique et d'Amérique du Sud. La très longue stabilité de la plateforme africaine (à l'exception des zones localisées du volcanisme récent et des rifts) se reflète dans la formation des reliefs et des sols. Au contraire, en Amérique du Sud, la couverture pédologique a été fortement influencée par l'orogenèse des Andes. Les reliefs constitués en amont des bassins fluviaux apparaissent comme les réservoirs des éléments détritiques ou solubilisables qui alimentent les plaines alluviales. Considérant plus particulièrement le domaine ferrallitique, P. SÉGALEN (****) compare à son tour les sols des régions où dominent les anciennes surfaces d'aplanissement à ceux des régions de tectonique et de volcanisme récents. Les premiers de ces sols sont les plus différenciés et les plus complexes, tous les types d'horizons s'y retrouvent,

(*) Tout au moins dans le travail de SIEFFERMANN lui-même, sinon par le fait qu'il faut des attaques à l'eau oxygénée répétées pour débarrasser les échantillons à analyser de toute leur matière organique. Mais l'auteur fait appel à des travaux cités dans la littérature qui plaident pour la stabilité des matières organiques des andosols.

(**) QUANTIN (P.) - 1974 - (op. cit.).

(***) HOORE (J. d') - 1956 - Comparaisons pédologiques entre les continents sud-américain et africain (Zones intertropicales). *Sols Africains*, 4,3, pp. 5-19.

(****) SÉGALEN (P.) - 1974 - Sols ferrallitiques, surfaces d'aplanissement anciennes et zones de tectonique et volcanisme récents. *Pédologie*, 24, 2, pp. 147-163.

cuirasses et stone-lines étant particulièrement développées. Les seconds ont des profils moins épais, moins différenciés, avec un plus petit nombre d'horizons différents. Le contraste est également net lorsque l'on considère les constituants minéralogiques. En dernier exemple, nous citerons V. A. KOVDA (*). Il a opposé les couvertures pédologiques renouvelées par les glaciations quaternaires dans les contrées tempérées et froides, à celles qui ont conservé des héritages très anciens dans les régions tropicales. D'autres oppositions apparaissent dans la vision générale des sols du monde proposée par KOVDA, notamment entre les sols de plaine caractérisés par une paléo-hydromorphie et les sols automorphes des chaînes montagneuses.

Nous soulignerons, en *conclusion*, que nous avons réuni ici des pratiques assez variées. Certaines utilisent des formulations mathématiques, alors que d'autres restent purement descriptives et qualitatives. Elles traitent parfois des entités pédologiques les plus complexes. Ce qui fait leur unité, c'est que toutes établissent des relations. La méthode comparative permet d'appréhender *très indirectement* des phénomènes sur lesquels l'observateur ou l'expérimentateur n'a pas prise. L'évolution des allophanes nous a servi d'exemple. Dans le milieu naturel, elle ne peut être réellement « observée ». Ses facteurs et ses mécanismes sont mis en évidence indirectement. Autre exemple que nous avons également utilisé, la nature des roches est un facteur incontestable de la pédogenèse. Mais prétendre définir isolément le rôle d'une certaine roche n'a pas toujours beaucoup de sens. L'influence des roches est plus souvent envisagée par la comparaison des sols issus de faciès acides, basiques, ultra-basiques. La science du sol utilise beaucoup de notions qui n'ont qu'une valeur *relative*, que seule peut établir l'analyse comparative.

Les successions

L'une des pratiques les plus courantes de la science du sol consiste à reconstituer, par des jalons successifs, le déroulement d'un processus au cours du temps. Il s'agit de découvrir quel corps a donné naissance à tel autre, quelle structure a précédé telle nouvelle organisation. Nous présenterons :

— le principe des successions, et sa place dans la science du sol,
— un exemple privilégié, celui des successions de minéraux.

La pédologie s'est édifiée dans une large mesure grâce à *une hypothèse générale sur les stades antérieurs*. Nous entendons désigner par là le présupposé suivant lequel un horizon ou un matériau donnés sont passés lors d'une étape antérieure de leur évolution par le stade qui est celui de l'horizon ou du matériau sous-jacents. Il suffit tout simplement de considérer les transformations qui seraient nécessaires de façon à amener les premiers aux mêmes états que les seconds, actuellement, pour donner une réplique théorique à certaines évolutions anciennes. « Au commencement était la roche », avait, dit-on, coutume de rappeler F. A. Van BAREN. La roche fournit le matériau originel qui, lui, donne le sol. Toute l'interprétation des profils verticaux suppose que les processus passés sont les mêmes que les processus hypothétiques qui pourraient transformer le matériau dit originel que l'on observe actuellement en un sol identique à celui qui le surmonte, ou qui pourraient transformer les horizons C en horizons B, puis les horizons B, en horizons A.

Les schémas trop simples ne tardent pas à se modifier, et l'on n'admet plus maintenant pour tous les sols cette différenciation purement verticale. Des mouvements latéraux, définissant de nouvelles zones de départ et de réception, sont reconnus dans les paysages. Ceci n'élimine pas la possibilité de retrouver les successions. Au contraire parfois, ce seront les mouvements

(*) KOVDA (V. A.) - 1965 - Common features and differences in the history of the soils of the continents. *Soviet Soil Science*, 1, pp. 1-11.

latéraux eux-mêmes qui seront mis en évidence parce qu'ils constituent, dans des horizons dits B, des figures qui se surajoutent aux figures architecturales primitives, qui sont celles des horizons C. A son dernier niveau de complexité, la recherche des successions pédologiques s'applique aux sols eux-mêmes considérés dans leur totalité. Nous avons déjà mentionné des auteurs qui placent certains sols « en tête d'une évolution », ou qui définissent une « pédogenèse initiale ». Dans leur démarche, les sols sont ordonnés en séries dont tous les membres rappellent ceux qui se sont succédés dans le temps pour aboutir aux sols les plus vieux de la couverture actuelle. La reconstitution des successions est employée dans la mesure où la science du sol se veut génétique et historique.

Nous avons essayé de donner au principe de succession sa situation générale à l'intérieur de la science du sol, en tenant compte des différenciations verticales ou latérales, et par rapport à l'histoire des profils. Nous examinerons maintenant avec plus de détail *un cas privilégié de la méthode, celui de la succession des minéraux*. L'étude géochimique et minéralogique des sols est dans une large mesure l'étude des différentes générations minérales. Nous verrons que l'observateur reconnaît des filiations dont le degré de certitude varie beaucoup. La situation la plus favorable se présente *au tout début de l'altération des roches*. L'observateur note l'existence de canalicules, de chenaux, parcourant les minéraux primaires. Ils sont remplis des substances constituant la première génération des minéraux pédologiques. Les observations ne sont pas toujours techniquement faciles, et elles doivent être multipliées pour couvrir un très grand nombre de situations. L'interprétation quant à elle semble facile et sûre. Il n'est guère douteux, si l'on observe par exemple des gels alumino-siliciques (difficilement décelables) ou de la gibbsite (déterminée plus aisément) à l'intérieur d'un feldspath, que celui-ci ait donné ceux-là. Passé ce premier stade où l'altération reste localisée dans des micro-fissures, l'interprétation continue à être assurée aussi longtemps qu'il y a *pseudomorphose*, c'est-à-dire aussi longtemps que les minéraux pédologiques occupent la place et gardent les contours extérieurs des espèces primaires. C'est ainsi que l'on a établi toutes les successions (ou toutes les filiations, si l'on préfère ce terme) possibles entre les silicates des roches et les minéraux pédologiques.

La situation se complique et l'on descend d'un degré l'échelle des certitudes lorsque l'on considère les cas *sans pseudomorphose*, où les minéraux pédologiques sont sans doute ceux d'*une deuxième génération*. La succession gibbsite-kaolinite dans le milieu ferrallitique illustrera cette nouvelle situation. La superposition de gibbsite au contact de la roche et de kaolinite au-dessus est fréquente, et la plupart des auteurs admettent la formation de la seconde par silicification de la première. Notre propos n'est pas de le contester, mais nous rappellerons pourtant que le processus envisagé n'a jamais été reproduit au laboratoire et que l'on a déjà proposé d'autres hypothèses pour expliquer la superposition gibbsite-kaolinite dans la nature (25, 26). Voyons ce qui apparaît au niveau de l'observateur. Pour A. NOVIKOFF (*) par exemple, la transformation gibbsite-kaolinite est évidente, elle s'accompagne de la disparition de la structure héritée de la roche, ce qui l'oppose à la formation directe feldspath-kaolinite des altérites à structure conservée. L'auteur présente des clichés où l'on distingue un mélange de gibbsite et kaolinite, avec des légendes telles que : « transformation de gibbsite en kaolinite, l'aspect résiduel de la gibbsite est net ». De leur côté, A. PÉCROT *et al.* (**) ont vu également des mélanges gibbsite-kaolinite, qu'ils ont interprétés par la formation simultanée des deux minéraux au sein des feldspaths. Nous présentons ces deux interprétations non pour les opposer, alors

(*) NOVIKOFF (A.) - 1974 - L'altération des roches dans le massif du Chaillu. Formation et évolution des argiles en zone ferrallitique. Thèse Fac. Sci. Strasbourg, 298 p., *multigr.*

(**) PÉCROT (A.) et al. - 1962 - L'altération des roches et la formation des sols au Kivu. INEAC, sér. sci. nº 97, 90 p.

que nous les coupons de leur contexte, mais pour montrer la complexification des « faits » suivant lesquels s'établissent certaines successions.

Nous retiendrons un dernier exemple, représentatif d'une complexité encore accrue. C'est celui de *la succession des argiles*, au-delà du contact roche-altérite, dans les horizons pédologiques supérieurs. Il n'y a plus possibilité d'observation directe faisant apparaître, comme dans les cas précédents, l'inclusion d'un minéral dans l'autre ou diverses figures de juxtaposition. L'ordre de succession des argiles est supposé être l'ordre suivant lequel elles apparaissent ou deviennent dominantes le long de la verticale des profils. Les argiles de la base sont prises pour celles de première génération, et celles du sommet pour les dernières formées. A l'échelle du paysage, c'est aussi un ordre de succession que l'on découvre si l'on admet que les argiles des reliefs jeunes donneront, à la longue, les mêmes espèces que l'on observe sur les reliefs anciens. Ces modes de raisonnement sont employés dans un grand nombre d'études pédologiques et en particulier dans celles de P. QUANTIN et G. SIEFFERMANN *(op. cit.)*. Nous proposerons cependant comme exemple le travail de F. LELONG (*) qui étudie l'évolution des argiles suivant un vecteur supplémentaire, représenté par les différentes classes granulométriques. Dans le milieu ferrallitique considéré, l'illite passe dans les classes granulométriques de plus en plus fines vers la partie haute des profils. Cela signifie qu'elle dérive des micas des roches et qu'elle est en cours de fragmentation et de dégradation. Au contraire, la gibbsite, minéral en cours de formation, voit ses cristaux croître et s'agréger, elle gagne les fractions granulométriques les plus grossières.

La faiblesse de ces raisonnements devient apparente lorsque l'on considère qu'ils peuvent donner lieu à des interprétations opposées. Certains auteurs ont soutenu la stabilité de la kaolinite dans le milieu ferrallitique, alors que d'autres la voyaient se détruire en libérant de la gibbsite. Si l'on observe en effet, au-dessus d'horizons kaolinitiques, un mélange de kaolinite et de gibbsite à la partie tout à fait supérieure des sols, on pourra sans doute penser que c'est la première qui a donné naissance à la seconde. Mais l'on pourra soutenir aussi que la gibbsite actuelle est celle qui a échappé à la silicification en kaolinite, ou qu'elle provient d'un colluvionnement venant de reliefs bauxitiques plus élevés. Nous reviendrons plus loin sur la difficulté de raisonner sur ces cas très complexes. Soulignons seulement maintenant que le principe de succession s'applique parfois avec un coefficient de certitude réduit.

Les formes organisées et les indicateurs Il existe dans les sols des matériaux et des structures qui délivrent un « message ». Leur présence a une signification, elle permet de remonter vers les processus ayant participé à la genèse du sol. Les formes organisées et les matériaux indicateurs sont trop nombreux pour que nous les recensions tous, ou pour que nous présentions tous les types de raisonnements auxquels ils sont associés. Nous ne traiterons cette question, une fois de plus, qu'en proposant quelques cas, que nous regrouperons ainsi :

— les figures simples, directement interprétables,

— les associations de plusieurs figures, et la reconstitution de processus complexes,

— les substances organiques ou minérales indicatrices de certaines conditions génétiques,

— et nous terminerons enfin sur trois exemples particuliers.

(*) LELONG (F.) - 1969 - Nature et genèse des produits d'altération de roches cristallines sous climat tropical humide. Sciences de la Terre, *Mém.* n° 14, 188 p.

Certaines figures apportent *une signification immédiate*. Ainsi, une concrétion formée d'auréoles concentriques indique une formation par dépôts successifs, en milieu homogène et non perturbé. Au contraire un gravillon (*) arrondi, patiné, sans continuité avec le matériau qui l'entoure, évoquera un concrétionnement ou un cuirassement anciens, suivis d'un démantèlement. C'est sans doute au niveau des organisations de petite taille, celles qui font l'objet de la micromorphologie, qu'apparaissent les figures les plus significatives. Un trait laminaire (13) par exemple montre une architecture qui ne peut être produite que par des soutirages et des déplacements latéraux. Une cutane (argillane), zonée, avec ses argiles orientées, compose une figure classique de sédimentation, analogue à celles que l'on peut voir à une autre échelle dans les dépôts géologiques. Des expériences de laboratoire sont d'ailleurs parvenues à reproduire des déplacements d'argile avec formation de cutanes (**). Le trait laminaire comme la cutane n'apportent pas une signification limitée à eux-mêmes, ils sont les indicateurs d'une évolution générale, par éluviation et illuviation, du matériau qui les contient. Bien entendu, l'interprétation (toujours génétique) de ces figures rencontre de fréquentes complications. A côté des cutanes d'illuviation existent des formes analogues, mais qui peuvent être produites par des phénomènes divers, pressions, réorganisations *in situ*. Il se peut aussi que des altérations de micas soient prises pour des ferri-argillanes (***).

Les *dispositions relatives et les emboîtements* de certaines figures permettent de reconstituer des phénomènes complexes. Les formations indurées sont celles qui conservent le mieux les matériaux ou les motifs anciens. Dans les cuirasses ferrallitiques se trouvent parfois des galets, des graviers anguleux, des concrétions héritées d'une première phase d'accumulation, des débris d'autres cuirasses, qui témoignent des conditions ayant préexisté à l'induration généralisée. Il est fréquent aussi d'observer dans les cuirasses des formes concentriques, rubannées, en pellicules, de couleur et de nature minéralogiques différentes de celles de la matrice. L'apport des sesquioxydes s'est donc réalisé en plusieurs phases. Dans les horizons meubles eux-mêmes, les études micromorphologiques mettent souvent en évidence le jeu de plusieurs processus successifs. Dans les altérites ferrallitiques meubles, de nombreux auteurs (voir 26) ont observé l'association de cristaux de gibbsite en deux habitus. Les uns sont de petite taille, diversement orientés, répartis dans de larges plages correspondant à des fantômes de feldspaths. Les autres, beaucoup plus grands, sont orientés en lignes recoupant les plages précédentes. Ces gibbsites appartiennent à deux générations, les unes sont formées par libération *in situ* d'alumine, les autres proviennent d'une accumulation absolue. R. BREWER (****) a donné les couches alternées d'opale et kaolinite, les ferri-argillanes jaunes, comme exemples de figures micromorphologiques complexes. Signalons aussi les argillanes brisées, dont on retrouve les débris mélangés au plasma ou cimentés dans de nouvelles figures d'accumulation. D'une façon générale, les dispositions relatives et les emboîtements d'éléments figurés montrent soit des dissociations parmi les constituants des plasmas pédologiques, soit des successions de processus différents.

Un changement d'échelle complet nous amènera à de nouvelles organisations, beaucoup plus grandes, qui peuvent être prises à leur tour comme éléments significatifs. Une

(*) Au sens que l'on donne au mot gravillon dans le milieu ferrallitique. Il s'agit toujours d'un élément induré par les sesquioxydes (fer, aluminium) à contour net.

(**) BREWER (R.), HALDANE (A. D.) - 1957 - Preliminary experiments in the development of clay orientation in soils. *Soil Sci.*, 84, pp. 301-309.

(***) MERMUT (A.), PAPE (Th.) - 1973 - Micromorphology of in situ formed clay cutans in soils, 4th Intern. Work. Meet. *Soil Micromorph.*, Kingston, Canada.

(****) BREWER (R.) - 1973 - Micromorphology. A discipline at the chemistry-mineralogy interface. *Soil Science*, 115, 3, pp. 261-267.

figure (podzol) qui comprend un humus grossier, un matériau cendreux, un alios, délivre elle aussi un « message ». Tous les « sols », profils ou pédons définis en termes de classification, sont pris comme éléments de signification, lorsque l'on commente par exemple les couvertures pédologiques régionales. Mais il s'agit ici de concepts construits, édifiés à partir de multiples données et interprétations, à la différence des concepts attachés aux figures plus primitives (cutane, concrétion, etc.) que nous venons de considérer. Parfois aussi, *les paysages laissent découvrir des figures relativement simples*. Une étude systématique des photos aériennes d'un vaste pays ferrallitique a permis à Y. BOULVERT (*) d'isoler un certain nombre de figures liées au cuirassement. On voit alors apparaître des liaisons directes entre certains massifs géologiques et les reliefs cuirassés. Tout un catalogue de cuirasses disposées en éventail, en U, en fer à cheval, en anneau, etc., peut être dressé. La première interprétation à donner à ces formes et à leurs rapports mutuels reste simple. Une cuirasse en fer à cheval est, pour le paysage, un élément signifiant probablement comparable à celui que représente par exemple une cutane pour un plasma. A toutes les échelles apparaissent des formes organisées qui délivrent des significations premières, c'est-à-dire qui ne dépendent pas (ou très peu) d'autres concepts pédologiques.

La science du sol utilise aussi comme indicateurs des *substances* chimiques, ou des *minéraux*. Dans les meilleurs des cas, ils ont une valeur intrinsèque. Ainsi le carbone 14 indique-t-il l'âge des matières organiques ou des carbonates du sol, à partir de critères complètement étrangers au problème posé. Beaucoup plus souvent ces indicateurs n'ont qu'une *valeur dérivée* elle-même de la validité de certaines théories pédologiques. Par exemple, la présence de calcaire, de sels, de taches ferrugineuses, de minéraux dits altérables, d'argiles 2 : 1, de sesquioxydes libres, peut être prise pour le signe de types pédogénétiques particuliers. De même, les formes d'usure et les figures de dissolution que l'on peut observer sur des quartz ou sur des minéraux lourds peu altérables sont des indicateurs, empruntés cette fois à des travaux géologiques ou géomorphologiques. Nous verrons plus loin la difficulté, sur le plan du raisonnement, d'utiliser des indices qui impliquent toute une théorie préalable.

Pour conclure, nous illustrerons cette pratique consistant à rechercher des « indicateurs » par trois exemples, choisis en dehors de ceux, trop connus, que peut offrir la micromorphologie. Y. BOULVERT (**) rapporte avoir trouvé de nombreuses empreintes de pieds humains et de pieds d'animaux à la surface de dalles cuirassées, en pays ferrallitique. Un ethnologue (E. de DAMPIERRE, communication personnelle) a confirmé la fréquence de ces empreintes, bien connues des populations autochtones qui n'y attachent pourtant pas d'intérêt particulier. Pour le pédologue, elles indiquent que la cuirasse s'est indurée dans un passé qui n'est pas antérieur à l'occupation humaine de ces contrées. Le matériau ayant donné la cuirasse est passé assez rapidement d'un état plastique, capable de recevoir une empreinte, à un état cohérent, capable de la conserver. Il s'agit là évidemment d'une trouvaille fortuite. Les indicateurs pédologiques sont plus souvent définis par un raisonnement scientifique. Ainsi, pour étudier la paléopédologie du quaternaire, M. ICOLLE (***) a-t-il choisi de concentrer son attention sur les galets. L'originalité de la méthode consiste en ce qu'elle ne considère pas, comme cela se fait couramment, la morphométrie de ces galets, mais la nature et le développement de leur cortex d'altération. Les galets sont toujours façonnés dans des roches saines, ce que l'auteur vérifie en examinant leur partie centrale. Chacun d'eux prend son départ dans l'évolution pédogénétique à un moment bien précisé, celui de la formation de la terrasse à laquelle il appartient. Les galets,

(*) BOULVERT (Y.) - à paraître.

(**) BOULVERT (Y.) - 1975 - Cartes pédologiques de l'Ouham (République Centrafricaine). ORSTOM, Notice explicative n° 58. 152 p., 4 cartes 1/200 000e.

(***) ICOLLE (M.) - 1971 - Essai d'une paléopédologie du quaternaire. *Science du sol*, 1, pp. 93-110.

ou plus exactement leur périphérie altérée, sont donc des témoins ayant cumulé des actions pédogénétiques plus ou moins longues et variées suivant qu'ils appartiennent à des terrasses anciennes ou récentes (en corrélation avec les épisodes glaciaires) du quaternaire. Les matériaux meubles des sols de terrasse n'auraient pas constitué d'aussi bons indicateurs que ces galets, leur composition de départ n'étant jamais connue avec autant de certitude. Notre dernier exemple se rapporte à une étude de V. ESCHENBRENNER (*). Plusieurs hypothèses (remaniement, autochtonie, remontées biologiques) entrent en concurrence pour expliquer la mise en place de beaucoup de sols ferrallitiques. La réalité du remaniement peut être démontrée si l'on découvre des indicateurs d'origine allochtone certaine. Plusieurs auteurs en ont trouvé parmi les industries lithiques. Rares et surtout fragiles en milieu ferrallitique (le quartz se dissoud et les roches, même taillées, s'altèrent), les industries ne sont en pratique utilisables que pour des formations quaternaires récentes. Les indicateurs retenus par ESCHENBRENNER appartiennent au contraire aux matériaux les plus résistants du milieu ferrallitique. Il s'agit d'éléments libérés par les cuirasses anciennes, qui peuvent perdurer au long du temps pédologique. La « surface intermédiaire » (miocène) notamment a donné en abondance des débris reconnaissables dont on peut suivre la répartition, le long des pentes, dans beaucoup de sols quaternaires. En ces trois exemples, nous avons donc vu apparaître des indicateurs de complexité croissante. Les empreintes humaines sont des indices simples. L'utilisation des galets n'a impliqué que quelques hypothèses sur leur état antérieur. Prendre un élément ferrugineux pour signe de remaniement a supposé la certitude qu'il relève d'une formation étrangère et n'a pu se former en place, toute l'histoire du cuirassement a été impliquée.

Les bilans La notion de bilan est très extensive, puisqu'on la rencontre dans les pratiques et dans le langage de la vie courante comme dans ceux de la recherche scientifique. Il faut préciser que pour la science du sol l'établissement d'un bilan ne se borne pas à déterminer des quantités. *Les bilans pédologiques ont toujours une valeur dynamique, évolutive.* Même s'ils sont établis à partir de critères statistiques, ils constituent l'approche d'un processus. Ils établissent une *liaison quantitativement définie* entre deux états de matière. Les exemples qui vont suivre le montreront. Nous noterons aussi la très grande importance prise par les bilans dans l'édification de la science du sol. Cela peut apparaître comme une originalité de la pédologie par rapport à d'autres sciences de la terre, géomorphologie et même géologie. La méthode des bilans est traitée sous une forme particulièrement explicite dans la littérature pédologique, où l'on s'étend volontiers dès qu'apparaissent des problèmes de mesure et de calcul. Cela nous dispensera de le faire à notre tour, et nous pourrons présenter brièvement :

— les bilans dans les systèmes ouverts typiques,
— les bilans rapportés à un matériau de départ.

Nous définirons les *systèmes ouverts typiques* par le fait que les éléments considérés peuvent y entrer, et en sortir. Le meilleur exemple pédologique à en donner est probablement celui de l'eau du sol. Il ne sera pas nécessaire de rappeler comment s'établit le *bilan hydrique du sol*, avec ses différentes composantes qui sont les précipitations atmosphériques, le ruissellement, l'évapotranspiration, la rétention, le drainage. Toutes les fractions qui participent au bilan hydrique total peuvent être mesurées expérimentalement ou calculées plus ou moins directement. Le lecteur reconnaîtra ici au passage un sujet d'étude qui satisfait (autant que cela se peut dans le cas de la science du sol) tous les principes de l'esprit nominaliste. Chaque donnée est définie par un protocole analytique, tout est quantifié et mathématisable. Ceci ne veut pas dire que tout soit simple, il est au contraire très difficile d'obtenir des données vraiment

(*) ESCHENBRENNER (V.) - à paraître.

significatives sur les différents états de l'eau dans le sol, sur l'évapotranspiration réelle, etc. Cependant, l'opposition est flagrante avec, entre autres, les études comparatives qualitatives de couvertures pédologiques complexes, comme nous en avons décrites précédemment, qui ne peuvent attirer que des esprits foncièrement réalistes. Les *matières organiques* constituent un nouvel exemple de système ouvert. Un bilan complet devrait tenir compte des fixations de carbone et d'azote, des quantités stockées par la flore et la faune, de celles emmagasinées par le sol, et de l'élimination définitive des matières organiques après minéralisation. En pratique, ce sont souvent des bilans partiels qui sont établis. Ainsi plusieurs auteurs ont essayé de faire le bilan, sous forêt tropicale, des matières végétales aériennes et racinaires, de celles qui transitent dans les litières, et des matières organiques accumulées dans le sol. Un dernier exemple de système ouvert sera emprunté à l'agro-pédologie. Il s'agit du *bilan des éléments fertilisants*, qui s'établit en prenant en compte les quantités apportées par les engrais, celles qui sont exportées par les récoltes, celles que retient le sol, et celles que les lixiviations éliminent.

Les *bilans rapportés à un matériau de départ* sont principalement ceux que l'on établit entre la matière minérale des sols, et les roches dont ceux-ci proviennent plus ou moins directement. Le problème fondamental est de déterminer quelle quantité de roche est à l'origine d'une certaine quantité de sol. Si l'on veut suivre la pédogenèse avec plus de détail, les bilans s'établiront aussi entre matériaux ou entre horizons pédologiques diversement évolués. En une position pédologique donnée, certains éléments du contenu initial peuvent être exportés, alors que d'autres éléments peuvent être introduits, par lessivage oblique ou vertical, par apport éolien, etc. Les bilans peuvent avoir des composantes positives et, ou, des composantes négatives. Ils ne peuvent s'établir que si l'on dispose d'un *invariant*, qui sert de référence au calcul. Nous noterons d'abord que certains raisonnements pédologiques parmi les plus courants, font implicitement appel à des invariants. Les pédologues ont l'habitude de comparer les compositions granulométriques de divers matériaux ou horizons. Ce faisant, leur attention se porte principalement sur l'argile. Ils établissent des coefficients d'appauvrissement ou de lessivage en argile qui n'ont en fait de sens que si l'on suppose stables les autres éléments, sables et limons. Beaucoup d'études granulométriques des sols se présentent comme des *ébauches de bilans*.

L'utilisation en science du sol de bilans géochimiques établis en fonction d'un matériau de départ est très ancienne. Elle remonte à J. B. HARRISON (voir 35), qui a été probablement le premier à étudier ainsi le « Katamorphisme » des roches et la formation de « latérite ». HARRISON, et beaucoup d'autres chercheurs après lui, ont adopté *un élément chimique comme invariant*. Il s'agit le plus souvent de l'aluminium parfois du chrome ou du fer. Il est possible aussi de retenir comme élément stable *un minéral*, tel le quartz, ou un *groupe poly-minéral* comme celui constitué par les minéraux lourds. Certaines analyses chimiques donnent une estimation globale de tous ces minéraux résistants susceptibles de rester invariants dans la pédogenèse. C'est le cas de l'attaque au triacide qui laisse quartz et minéraux lourds dans le résidu non solubilisé. Avec ces données, J. D'HOORE (*) a établi des bilans géochimiques en employant une représentation graphique triangulaire. Sur chacun des trois axes, sont portés les résidus de l'attaque (quartz, minéraux lourds, supposés stables), les sesquioxydes métalliques (fer, aluminium, etc.) qui peuvent former des accumulations, et les éléments essentiellement mobiles (silice combinée, bases) dans le milieu ferrallitique étudié. Le passage d'un matériau à un autre se trouve représenté, dans le graphique, par un segment dont l'orientation indique s'il s'agit d'une évolution par accumulation relative ou par accumulation absolue. Il faut rappeler enfin les bilans *isovolume* qui s'appliquent entre matériaux de même composition de départ

(*) HOORE (J. d') - 1954 - L'accumulation des sesquioxydes dans les sols tropicaux. INEAC, sér. sci. nº 62, 132 p.

ayant gardé sans modification leur architecture. La densité apparente et la composition chimique étant mesurées, le calcul indique les pourcentages de matière perdus ou gagnés dans le passage d'un matériau à l'autre.

En réalité, les études successives ont montré que les éléments stables ne sont pas les mêmes dans toutes les situations pédologiques, et qu'il n'en est peut-être aucun d'eux qui soit rigoureusement invariant. Il a fallu admettre que l'aluminium (théoriquement insoluble) se déplace, que le quartz peut être fortement solubilisé, que la conservation apparente des structures dans certains altérites de roches ultra-basiques n'exclut pas d'importants tassements (voir 26). Les bilans établis par rapport aux invariants n'ont parfois qu'une valeur approchée.

L'altération des roches fait depuis longtemps l'objet de bilans, établis comme nous venons de le voir, en fonction d'un invariant. Ceci implique que l'on ne considère que la phase résiduelle de l'altération. Il est possible aussi d'établir *un bilan à partir de la phase solubilisée*, en faisant toujours référence au matériau de départ, c'est-à-dire ici à la roche. Cette nouvelle approche est récente, elle est apparue dans les travaux de G. PÉDRO (*) et de Y. TARDY (**). Nous ne reproduirons pas ici les raisonnements et les calculs impliqués. Rappelons seulement que la composition chimique de la phase solubilisée permet de connaître (dans le cas de roches cristallines, et au prix de quelques hypothèses simplificatrices) la composition chimique de la phase résiduelle, et notamment ses rapports silice/alumine et silice/sesquioxydes. Le bilan s'établit pour un instant donné, ce qui nous rapproche des études de dynamique actuelle dont nous allons parler plus loin.

Il faut enfin mentionner qu'une *carte pédologique* peut représenter tout un bilan de la pédogenèse. Ceci suppose que son contenu d'information soit suffisant, c'est-à-dire que les sols aient été considérés dans leur totalité, et non en fonction de critères particuliers ou suivant une profondeur arbitrairement limitée. La carte fera alors le compte non seulement des surfaces mais aussi des volumes pédologiques. Elle permettra une estimation des matériaux formés par différents processus au cours du temps. Pour un paysage tropical par exemple, la carte donnera une mesure des accumulations bauxitiques anciennes, des accumulations ferrugineuses, des sols à ferrallitisation active, des reliefs érodés, des épandages alluviaux, etc. Corrélativement, on pourrait lui demander d'indiquer les quantités de matière exportée des paysages. En pratique, ces sortes de bilan ont rarement été poussés jusqu'à des estimations quantifiées. La géographie des sols se contente généralement de décrire qualitativement la répartition des différentes masses pédologiques. Les *bilans paysagiques établis à partir de processus actuels* sont plus fréquents. L'érosion chimique et l'érosion mécanique sont mesurées par la charge des eaux et le débit des cours d'eau. Il est possible de calculer, au rythme actuel, les vitesses de l'approfondissement des sols par altération et de leur décapage par érosion mécanique, pour l'ensemble d'un paysage.

La dynamique actuelle

Nous avons examiné un certain nombre de pratiques opératoires qui ont toutes (***) un caractère d'étude statique. Ce n'est qu'*a posteriori* qu'elles permettent de reconstituer les processus d'évolution. Si l'on considère par exemple un bilan géochimique iso-volume roche-altérite, il conduit à reconnaître dans l'altération une migration de silice et de bases, mais à aucun moment il ne permet

(*) PÉDRO (G.) - op. cit.

(**) TARDY (Y.) - 1969 - Géochimie des altérations. Étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lor.*, nº 31, 199 p.

(***) Ou plutôt à quelques exceptions près. Ainsi l'établissement des bilans par la mesure des éléments véhiculés dans le réseau hydrographique relève de la dynamique actuelle.

d'appréhender directement cette migration. Si l'on pouvait faire la somme des connaissances pédologiques contemporaines, il apparaîtrait sans doute qu'elles proviennent en très grande majorité de ces études statiques. Aussi peut-on considérer que la science du sol a réalisé dans sa méthodologie générale un progrès considérable (*) lorsqu'elle est récemment passée à des études de dynamique actuelle. Sous ce terme, nous désignerons les études qui ont pour but de *suivre les processus naturels dans leurs manifestations immédiates, dans la limite du temps que peut durer l'observation.*

Des équipes de travail, ou des groupes de réflexion, s'édifient sur le thème de la dynamique actuelle des sols (**). La structuration en cours parmi les chercheurs souligne, s'il en est besoin, la nouveauté du thème, ou tout au moins le récent élargissement de l'intérêt qu'il suscite. Ceci n'interdit pas de reconnaître que certains travaux déjà anciens ont eu la même orientation. Nous avons mentionné, dans les pages précédentes, les études des profils hydriques des sols, sous l'aspect des bilans qu'elles peuvent constituer. Elles représentent aussi, sous son aspect dynamique, l'un des mécanismes essentiels de l'évolution des sols. Ces études sont conduites depuis longtemps. Il en est de même pour l'étude en parcelles du ruissellement et de l'érosion, dont les débuts remontent maintenant à plusieurs dizaines d'années. Sans doute pourrait-on dire de ces deux sujets de travail qu'ils sont repris et intégrés dans le thème de la dynamique actuelle des sols, ou peut-être plus justement qu'ils sont eux-mêmes à l'origine de ce thème. Nous rappellerons un dernier exemple d'étude dynamique appartenant déjà au passé. Il s'agit de celle commencée en 1930 par A. DEMOLON (***), dont le but était de suivre l'altération « spontanée » de fragments de roche soumis en lysimètres aux actions météoriques. Le dispositif employé permet d'observer le développement de la phase résiduelle de l'altération, comme de suivre de façon plus dynamique la phase solubilisée et entraînée par les eaux de drainage.

Comme exemple des travaux contemporains, nous citerons ceux de E. ROOSE. Plusieurs articles de l'auteur (****, *****) ont décrit les moyens employés. Il s'agit toujours de dispositifs utilisant des sols en place, non perturbés (sinon par un inévitable effet de parois), et qui restent dans leur environnement naturel. La non perturbation du sol est respectée dans les parcelles de grandes dimensions, et également dans les lysimètres. Ceux-ci enserrent des colonnes de terre découpées sur place. Les processus étudiés sont essentiellement ceux liés à la dynamique de l'eau : ruissellement et érosion, drainage vertical et lixiviation, drainage et lessivage obliques. En suivant l'eau et sa charge soluble ou en suspension, on peut entreprendre de reconstituer les principaux transferts de matière qui se produisent naturellement dans les sols. L'activité biologique peut, elle aussi, être appréciée, au moins partiellement, par les matériaux qui sont amenés à la surface.

Aux études de dynamique actuelles *sont facilement associées certaines pratiques expérimentales*. Ainsi, les travaux de E. ROOSE que nous avons cités ont-ils trouvé une prolongation avec certains traitements concernant différentes plantes cultivées, le travail du sol, l'apport

(*) Nous pourrions dire aussi qu'il s'agit d'un « saut épistémologique » (4) ou d'une « révolution scientifique » (60).

(**) AUDRY (P.) *et al.* - 1972 - Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Définition, méthodologie, techniques, limitations actuelles. Quelques voies de recherche possibles. ORSTOM, 18 p., *multigr.*

(***) DEMOLON (A.), BASTISSE (E.) - 1946 - Observation sur les premiers stades de l'altération spontanée d'un granite et la genèse des colloïdes argileux. *CR Acad. Sci.*, 223, pp. 115-118.

(****) ROOSE (E.) - 1968 - Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 6, 2, pp. 235-249.

(*****) ROOSE (E.) - 1970 - Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique de moyenne Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 8, 4, pp. 469-482.

d'engrais. Des pluies simulées permettent d'étudier certains mécanismes dans des conditions mieux définies que lors des pluies naturelles. Ces quelques cas ne sont que des exemples. Il existe toute une gamme d'études dynamiques portant sur des sols naturels, mais qui mettent en jeu des processus influencés et contrôlés par le pédologue.

L'expérimentation Il serait sans doute superflu d'insister longuement sur les pratiques de la pédologie expérimentale. Elles sont sans doute peu différentes de celles mises en œuvre par les autres sciences de la nature. Il est peut-être plus important de souligner ici qu'elles n'ont occupé jusqu'à présent qu'*une place restreinte* dans la science du sol, qui est restée beaucoup plus une science d'observation qu'une science expérimentale au plein sens du terme.

C'est sans doute par l'expérimentation que l'on connaît les conditions thermodynamiques de formation des minéraux des sols. Il en est ainsi pour tous les minéraux, qu'ils appartiennent aux sols, aux roches, ou que leur intérêt soit purement industriel. Rappelons par exemple le cas des gels et des hydrates cristallins de l'aluminium sur lesquels de nombreux chercheurs du secteur industriel ont travaillé. La minéralogie des argiles a une large base expérimentale, mais on ne peut prétendre l'inclure dans la pédologie proprement dite. Par contre l'altération des minéraux primaires, et plus encore l'altération des roches que l'on réalise au laboratoire correspondent bien à des objectifs pédologiques. C'est ici que la pédologie expérimentale a obtenu ses plus beaux succès, en réalisant par exemple des altérations artificielles directement comparables à celles du milieu ferrallitique naturel (G. PÉDRO, *op. cit.*). Les débris végétaux et la matière organique se prêtent aussi facilement à l'expérimentation. Nous rappellerons les multiples travaux sur l'humification réalisés dans les dispositifs les plus variés qui vont de l'éprouvette de laboratoire, aux vases et aux lysimètres, et jusqu'aux parcelles culturales en vraie grandeur. Il existe aussi des expérimentations qui s'écartent des processus physico-chimiques relativement simples pour aborder les mécanismes typiquement pédologiques, dans lesquels interviennent différents composés minéraux et organiques. La migration de l'argile et des sesquioxydes, l'agrégation, la gleyification, la podzolisation, sont, parmi d'autres, des processus qui ne s'étudient pas seulement dans la nature mais aussi au laboratoire. Sur de petites colonnes de sol, ont été produites des différenciations comparables à celles observées sur les sols. Pour illustrer ceci, nous proposerons au lecteur les travaux de R. BETRÉMIEUX (*), C. BLOOMFIELD (**), J. d'HOORE (***).

Conclusion En décrivant les pratiques opératoires qui nous semblent les plus significatives, nous n'avons pas épuisé notre sujet. Tout d'abord, nous avons totalement omis de présenter les techniques analytiques physiques, chimiques, biologiques. Il nous semble en effet que ce ne sont pas elles qui constituent la méthodologie proprement pédologique. Nous avons également ignoré bien des démarches plus ou moins fréquemment utilisées. Nous aurions pu, par exemple, parler des repères historiques. Certains auteurs ont observé les sols développés sur des formations parfaitement datées, crassiers de mines, murailles anciennes, coulées volcaniques, etc. Nous n'avons fait aucune allusion aux pratiques de la biologie et de la microbiologie des sols. En fait, nous nous sommes référés principalement à ce que nous considérons comme pédologie « générale », et plus particulièrement dans le cas des sols tropicaux.

(*) BÉTREMIEUX (R.) - 1952 - Raisons et enseignements de la pédologie expérimentale. *Bull. Ass. fr. Et. Sol*, 37 pp. 3-15.

(**) BLOOMFIELD (C.) - 1955 - The movment of sesquioxides and clay in the soil. *African Soils*, 3, 4, pp. 489-506.

(***) HOORE (J. d') et al. - Induced migration of clay and other moderately mobile soil constituents. *Pédologie*, 1970, 20, 1, pp. 51-61, 1971, 21, 3, pp. 311-342, 1972, 22, 3, pp. 255-283.

LES CORPS NATURELS ET LES PROCESSUS PÉDOLOGIQUES

Entre les données premières de l'observation, et les théories ou les lois explicatives, la science du sol utilise des notions intermédiaires. Il s'agit tout d'abord des concepts de profil, de pédon, d'individu-sol, qui précisent le concept général du « sol », corps naturel indépendant, autrefois reconnu par V. V. DOKUCHAEV. Nous considérerons également le concept « *processus d'évolution* » qui remonte lui aussi aux débuts de la science du sol. Notre propos n'est pas de faire ici une véritable analyse de ces concepts, mais, après quelques rappels, de les situer dans la méthodologie générale de la science du sol.

Dans les pages précédentes, nous avons rappelé les analyses historiques faites sur les différentes conceptions du sol qui se sont succédées au cours du temps. D'actives discussions se poursuivent actuellement sur le même sujet. Suivant l'expression de G. BOCQUIER (*), elles sont centrées sur « la question très générale concernant l'univers pédologique : cet univers est-il composé de corps physiques distincts, ou n'est-il qu'un continuum sans objets particuliers ». C'est en quelque sorte un problème d'ontologie pédologique qui est posé. Existe-t-il des individus pédologiques ? Toutes les écoles pédologiques sembleraient avoir répondu par l'affirmative, puisque toutes distinguent des unités diversement dénommées, profil génétique, pédon, individu-sol. La discussion est relancée lorsque l'on considère, comme le fait P. QUANTIN (*), qu'il peut s'agir de corps naturels, ou de corps artificiels et même arbitraires. Ainsi pour certains auteurs, le pédon serait un individu parfaitement arbitraire (et donc, pour eux, tout à fait inintéressant), du fait de sa délimitation, et pour la raison qu'il est génétiquement lié à d'autres portions du paysage pédologique. Nous ne poursuivrons pas ici le débat sous cet aspect ontologique. J. BOULAINE (*) a souligné l'intérêt, *au niveau du travail* pédologique, de disposer d'une entité comme le pédon. C'est en ce sens également (*) que nous renvoyons le problème de ces individus pédologiques supposés naturels ou artificiels aux chapitres où nous tenterons l'examen des formalisations et du langage.

Les processus d'évolution ne sont pas soumis à une critique aussi fréquente que celle qui s'attache au concept du sol et à ses différentes représentations. Il faut tout de même souligner que la notion de processus d'évolution est très liée aux classifications pédogénétiques. A chaque unité de classification d'un niveau élevé correspond un processus d'évolution particulier. Processus et taxa établissent un ordre parallèle parmi les mécanismes et parmi les corps pédologiques. Notons que certains auteurs comme M. G. CLINE *(op. cit.)* récusent la réalité de grands processus spécifiques de certains milieux, tels ceux que l'on dénomme podzolisation, latéritisation, calcification. Il existe plus vraisemblablement selon eux tout un ensemble de processus concurrents, qui prennent suivant les circonstances avantage les uns sur les autres.

L'épistémologie contemporaine insiste beaucoup sur *les discontinuités*, les seuils, les ruptures, qui apparaissent dans toutes les sciences. Les visions continuistes paraissent devoir être reléguées parmi les options périmées. A cet égard, nous l'avons déjà dit, la pédologie est depuis longtemps une science du discontinu. Il n'est pas inutile de rappeler, au passage, que cela s'appuie sur l'identification d'individus-sols variés et sur la reconnaissance de processus

(*) Documents de travail présentés par G. BOCQUIER, J. BOULAINE, Y. CHATELIN, P. QUANTIN, dans le cadre d'un groupe de travail « Terminologie et Langage pédologique ».

qualitativement (et non seulement quantitativement, comme dans la conception de M. G. CLINE) différents. Les discontinuités n'ont peut-être pas, parmi les sols, la brutalité qu'elles ont en d'autres domaines. L'existence de zones intermédiaires ou de termes de transition dans une toposéquence par exemple, n'enlève rien au fait que le fonctionnement des termes amont et celui des termes aval soient fondamentalement différents.

Concluons. Il ne nous semble pas opportun de relancer ici le débat sur le caractère naturel ou artificiel des corps pédologiques, non plus que sur les différenciations qualitatives ou quantitatives séparant les processus. Mais il nous faut rappeler que *individus-sols et processus génétiques* sont souvent *pris comme concepts de base des recherches*. Le pédologue généraliste conçoit beaucoup plus souvent son travail dans les termes de ces concepts intermédiaires que dans ceux des observations élémentaires. Nous avons vu par exemple que c'est entre types de sols ou entre processus d'évolution que s'établissent la plupart des analyses comparatives.

DES SYSTÈMES D'ORDRE INFÉRIEUR AUX SYSTÈMES D'ORDRE SUPÉRIEUR

La grande *diversité des échelles* de travail en science du sol est évidente. Certains pédologues étudient des structures à l'échelle du micron, alors que d'autres portent leur attention sur des structures continentales. On remarquera que, *historiquement*, la science du sol a souvent commencé son travail par les structures les plus larges, pour entrer ensuite dans le détail des plus petites. Rappelons que les cartes pédologiques mondiales sont apparues dès la fin du siècle dernier, au risque de certaines erreurs, comme celle qui a consisté à indiquer de vastes surfaces de chernozem en Afrique. Plus près de nous, nous soulignerons que la carte pédologique du Tchad au millionième (*) était terminée avant que G. BOCQUIER (13) ne présente son étude détaillée des toposéquences. Mais ce n'est pas sur cet ordre chronologique que nous allons insister. Nous n'invoquerons pas non plus des « niveaux scalaires », ou des « structures de différentes échelles », et préférerons parler de *systèmes d'ordres inférieur et supérieur*, ces expressions (plus proches du vocabulaire épistémologique) traduisant mieux leurs rapports d'inclusion. Ce sera pour essayer de montrer en quel sens les différentes démarches pédologiques établissent le passage des « faits » aux « théories ». Plus précisément, disons que s'il est fréquent d'utiliser des faits de systèmes d'ordre inférieur (échelle micro par exemple) pour construire une théorie s'appliquant à un système plus général (évolution paysagique par exemple), l'inverse est tout aussi possible. Deux exemples nous serviront à le montrer plus clairement.

Ils se rapportent tous les deux au domaine où se lient évolutions pédologiques et évolutions géochimiques. Le premier cas sera représenté par B. B. POLYNOV (**), qui est reconnu comme le fondateur (ou l'un des fondateurs) de la géochimie de surface telle que nous la connaissons actuellement. La démarche suivie par POLYNOV est devenue classique, elle a été reprise de multiples fois pour des problèmes particuliers, nous la résumerons ainsi. Son origine se situe dans une série de données très élémentaires, constituant un système d'ordre peu élevé. Il s'agit des compositions chimiques des eaux d'écoulement, eaux des rivières et des fleuves.

(*) PIAS (J.) - 1970 - Notice explicative. Carte pédologique du Tchad au 1/1 000 000e. ORSTOM, Fort-Lamy, Paris, 167 p. *multigr.* Il faut remarquer que cette carte, parue seulement en 1970, représente la synthèse d'une couverture cartographique au 1/200 000e entreprise 20 ans auparavant.

(**) POLYNOV (B. B.) - 1937 - The cycle of weathering. Transl. A. Muir, Thomas Murby & Co, London, 219 p. 1.e éd. URSS 1934.

TABLEAU 5

Argile	1 µ	Théorie pédogénétique classique →	Paysage pédologique
Cutane	100 µ		
Profil	1 m		Paysage géochimique

SYSTÈMES D'ORDRE INFÉRIEUR		SYSTÈMES D'ORDRE SUPÉRIEUR
Mécanismes de l'érosion Rôle de la végétation Altération	← Théorie de la biostasie et de la rhexistasie	Distributions régionales Sols Sédiments

Tous les éléments de l'écorce terrestre n'y sont pas présents. Ceux qui manquent sont ceux qui ont dû s'accumuler dans les croûtes d'altération et dans les sols. Parmi ceux qui ont été primitivement solubilisés, il en est qui se fixeront rapidement sur les alluvions, d'autres qui vont se sédimenter dans les océans, alors que certains resteront en solution. C'est ainsi que POLYNOV a composé progressivement un système d'ordre élevé, correspondant au paysage géochimique de l'ensemble de la surface terrestre, avec ses accumulations résiduelles, ses dépôts sédimentaires, détritiques et chimiques. Le même problème général a été repris par H. ERHART (*), cette fois dans une optique inverse. C'est ce qui représente notre deuxième exemple. C'est la considération d'un système d'ordre élevé qui constitue sa base de départ. ERHART a relevé les différentes formations, à une échelle géologique d'espace et de temps, dans lesquelles se distribuent les éléments chimiques : accumulations de charbon, de carbonates, de silice, de fer, etc. Partant de leur distribution spatiale, il remonte aux mécanismes qui ont pu assurer leur séparation. Si l'on considère par exemple le cas du processus géochimique à l'origine des sols ferrallitiques, il ne sera pas identifié par la minéralisation de l'eau quittant les profils, non plus que par l'observation des minéraux primaires altérés. La ferrallitisation se définit, et donne sa mesure, par les ségrégations de silice, de bases, de sesquioxydes, qu'elle distribue à la surface de la lithosphère. L'érosion n'est pas davantage appréhendée par des processus élémentaires. Elle est reconnue à l'immensité des masses kaolinitiques et ferrugineuses qu'elle a conduit vers des dépôts sédimentaires. L'ouvrage de H. ERHART a fait en son temps une grande sensation dans la communauté pédologique française. Nous pensons que c'est, dans une large mesure, parce qu'il s'appuyait sur une méthodologie inhabituelle pour les pédologues, montrant la possibilité de partir d'un système très large pour aboutir au système d'ordre inférieur où se situent les mécanismes pédogénétiques.

(*) ERHART (H.) - 1956 - la genèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson, 83 p.

Il est peu douteux que la science du sol procède le plus communément *des systèmes d'ordre inférieur vers ceux d'ordre supérieur*. Toute la micromorphologie des sols est là pour le prouver. L'observation de cutanes, dont les dimensions sont de l'ordre de la dizaine de microns ou du millimètre, définit la mobilité de l'argile à l'échelle du paysage. C'est sous le microscope que N. FÉDOROFF *(op. cit.)* trouve les éléments qui lui permettent de reconstituer les pédogenèses successives du quaternaire, ou que G. BOCQUIER (13) réunit les données (traits laminaires et cutanes) décisives pour l'interprétation du fonctionnement d'unités biogéodynamiques tropicales. De l'observation de grains de quartz fragmentés, corrodés, appartenant à certains sols tropicaux, G. MILLOT et R. FAUCK (*) remontent aux processus responsables des multiples dépôts siliceux du quaternaire saharien. Des matériaux déposés par les vers et les termites apparaissent à la surface des sols tropicaux. Certains auteurs (voir J. VOGT, *op. cit.*) en ont conclu à l'origine biologique des énormes matériaux meubles surmontant les stone-lines. Les travaux expérimentaux, les études de dynamique actuelle, procèdent de même en cherchant à étendre leurs résultats aux sols « en vraie grandeur ». Des parcelles expérimentales de quelques mètres carrés, où l'on mesure érosion et ruissellement, apportent une explication (E. ROOSE, *op. cit.*) à l'appauvrissement en argile qui est général dans les sols ferrugineux tropicaux et beaucoup moins important dans les sols ferrallitiques. Il est inutile de multiplier ces exemples, mais nous ajouterons pourtant que le mode d'exposition des publications illustre lui aussi le sens de ces démarches. Si l'on se reporte aux travaux de thèse des pédologues français que nous avons déjà cités, il apparaîtra qu'ils commencent tous par des faits de détail et se concluent également toujours sur des interprétations paysagiques.

Il s'agit de démarches analytiques. Elles sont assurément *indispensables*, mais il faut avoir conscience des *risques* qu'elles entraînent. Ces risques proviennent du fait qu'il y a extrapolation, changement d'échelle, saut d'un niveau d'organisation limité à un autre beaucoup plus large. Il est plus que probable que dans la nature ce passage d'un niveau à l'autre s'accompagne de l'intervention de nouveaux processus et de leurs interactions. Ce qui s'observe à l'échelle micro peut paraître expliquer de façon satisfaisante les structures les plus vastes, sans que cela ne soit toujours logiquement justifié. L'épistémologie actuelle souligne les inconvénients d'une méthodologie « *réductioniste et atomistique* » (76). On parle d'atomisme lorsque le travail scientifique se situe toujours au niveau des particules, ou des processus, les plus élémentaires. Le réductionisme est ce procédé qui tente de ramener ce qui est complexe à ce qui est simple. Ces deux notions rendent bien compte de ce qui se pratique largement en science du sol. C'est ainsi que l'on « réduit » les paysages pédologiques, les unités complexes que l'on dit bio-géodynamiques, jusqu'à ne considérer que certains indicateurs micromorphologiques.

Les épistémologues contemporains accordent leur préférence à une méthodologie « constructiviste », plus apte à la saisie des « totalités ». Dans notre dernier chapitre, nous verrons comment cela peut se concevoir en science du sol. Soulignons seulement que la deuxième démarche que nous considérons maintenant, celle qui consiste à descendre *des systèmes d'ordre élevé vers ceux d'ordre inférieur*, est une manière (parmi d'autres) d'appréhender des « totalités », prises alors comme points de départ. L'ouvrage de H. ERHART *(op. cit.)* constitue sans doute le meilleur exemple que l'on puisse donner à ce type de démarche. Nous pourrions également proposer comme illustration l'étude de R. MAIGNIEN (**) dans laquelle les principes de la dynamique du fer sont établis (au moins en partie) par la vision paysagique des accumulations ferrugineuses. La thèse de G. BOCQUIER (13) nous offre une approche comparable, lorsque

(*) MILLOT (G.), FAUCK (R.) - 1971 - Sur l'origine de la silice des silicifications climatiques et des diatomites quaternaires du Sahara. *C.R. Acad. Sci.*, 272, pp. 4-7.

(**) MAIGNIEN (R.) - 1958 - Le cuirassement des sols en Guinée. *Mém. Serv. Géol. Als. Lor.*, 16, 235 p.

l'auteur, ayant retracé les dominances pédologiques de chaque zone climatique, revient à la considération des sols qu'il a étudiés. L'ordre de succession zonale est alors invoqué pour justifier la valeur rationnelle (pédologiquement parlant) et la valeur de généralité de l'organisation reconnue au long des deux toposéquences de Mindéra et Kossélili (*). La carte des sols d'Afrique vient ici renforcer, ou valoriser, l'interprétation donnée à deux séquences ayant cent cinquante mètres de long.

Un système d'ordre élevé a évidemment une « *puissance* » beaucoup plus grande qu'un système d'ordre inférieur sur le plan de l'information. C'est à son niveau, en dernier ressort, que l'on contrôle la connaissance. Nous voulons dire par là que dans les ensembles complexes la validité d'un modèle global construit à partir de mécanismes élémentaires (pourtant réels, mais sans doute incomplets) est rarement garantie parfaitement. C'est le système d'ordre élevé, s'il peut être appréhendé correctement, qui donne le pouvoir d'établir ou plus simplement de confirmer la responsabilité de certains mécanismes élémentaires. Malgré cela, le travail en sens descendant dans les hiérarchies pédologiques est, nous l'avons dit, rarement ou très partiellement poursuivi. Une raison première de cette situation se trouve, à notre avis, dans l'insuffisance générale des cartes pédologiques (**). Elles parlent malheureusement souvent un langage abstrait sans apporter suffisamment d'information (***). La carte est prise pour un aboutissement, alors qu'elle pourrait être un relai vers d'autres investigations.

Nous avons ébauché une analyse s'appuyant sur quelques cas bien typés (POLYNOV, ERHART, *op. cit.*), mais qui ne s'applique pas partout, avec tant de facilité tout au moins. Il est en effet souvent bien délicat de prétendre suivre le jeu des diverses confrontations entre les faits élémentaires que l'on observe avec précision et les paysages appréhendés de façon moins rigoureuse et moins complète et pour lesquels on veut établir un modèle descriptif et explicatif. Il faut noter aussi que le pédologue invoque souvent des théories d'ordre général, comme par exemple celles concernant la genèse des argiles. Ce faisant (chapitre suivant), il introduit dans son raisonnement des éléments de justification qui sont étrangers (bien que sans doute parfaitement valables) au système particulier étudié. Nous ne parlerons de *démarche ascendante ou descendante dans les hiérarchies pédologiques* que dans la mesure où l'on reste dans un ensemble où l'on contrôle toute l'information.

(*) « ainsi la succession bioclimatique (ou zonalité) qui est généralement observée avec l'aridité croissante : ferrugineux lessivés à vertisols, correspondrait donc à la dominance successive de ces différents termes dans les paysages et suivant l'ordre bien défini qu'ils ont dans toutes les toposéquences » (13).

(**) Peut-être est-ce davantage le cas pour les régions tropicales que pour les régions tempérées ? Le lecteur compétent appréciera.

(***) Cela pourrait être le défaut de cartes faites par un esprit réaliste trop ambitieux et trop interprétatif. Les cartes d'inspiration nominaliste véhiculeraient au contraire une grande masse d'informations, peu triées et de ce fait difficilement utilisables. Le problème est complexe.

Chapitre quatre

LE RAISONNEMENT

Une vision simplifiée de la démarche scientifique accordera sans doute peu de place au raisonnement. Le scientifique doit analyser des faits, et en tirer une juste conclusion. Il est probable que parmi les hommes de sciences eux-mêmes, beaucoup s'en tiennent là. N'était-ce pas le cas de Cl. BERNARD (7) lorsqu'il écrivait : « les *faits* sont les matériaux nécessaires... au *raisonnement* expérimental... qui constitue et édifie véritablement la *science* ». Cette trop belle simplicité ne peut être longtemps admise. Déjà W. WHEWELL (99), contemporain de Cl. BERNARD, notait-il que certaines idées se transforment en faits, ou, à plus justement parler, que les scientifiques adoptent ces idées comme s'il s'agissait de faits. Une réflexion un peu plus poussée n'a pas tardé à montrer dans la science des inter-relations plus complexes que celles unissant un ensemble de données à une interprétation particulière. P. DUHEM (*) par exemple écrit : « Nous voici bien loin de la méthode expérimentale telle que la conçoivent les personnes étrangères à son fonctionnement. On pense communément que chacune des hypothèses... peut être prise isolément... En réalité, il n'en est pas ainsi... c'est un système que l'on doit prendre tout entier, c'est un organisme dont on ne peut faire fonctionner une partie sans que les parties les plus éloignées de celle-là entrent en jeu ». L'épistémologie contemporaine va beaucoup plus loin. Les formules percutantes de G. BACHELARD (4) sont bien connues. « *Tout fait est imprégné de théorie* », « l'expérience est un moment de la théorie », « les instruments ne sont que des théories matérialisées », « les concepts et les méthodes, tout est fonction du domaine d'expérience », « un discours sur la méthode scientifique sera toujours un discours de circonstance », etc. Des remarques analogues ont été présentées dans le domaine des sciences humaines, par J. PARAIN-VIAL (74) pour qui « il n'est pas de fait sans structure conceptuelle immanente ».

C'est ce qui rend si difficile toute analyse épistémologique au-delà des cas très particuliers que représentent les sciences axiomatiques purement formelles, logique et mathématique. En un secteur donné des Sciences de la Nature, il est *impossible de recenser tous les points de départ*, tous les « faits » vraiment primitifs. Chaque démarche introduit des concepts préalables. Le chercheur contrôle rarement la totalité de son véritable itinéraire. Si familière pourtant aux anciennes discussions sur la science, la notion de « *preuve* » perd alors beaucoup de sa pertinence. Nous l'abandonnerons ici, et préférerons présenter comme un « *raisonnement* » cette opération qui, à défaut de « prouver », doit s'efforcer de « conclure ». Dans ce discours de circonstance dont parle G. BACHELARD, chaque travail scientifique a sans doute son raisonnement original, ou plutôt sa propre partie de raisonnement. Une épistémologie régionale

(*) DUHEM (P.) - 1906 - La théorie physique. Paris, Éd. M. Rivière (Cité par R. BLANCHÉ).

peut l'atteindre assez facilement. Mais elle doit aussi montrer tout ce qui est étranger, antérieur, aux opérations qu'elle commente.

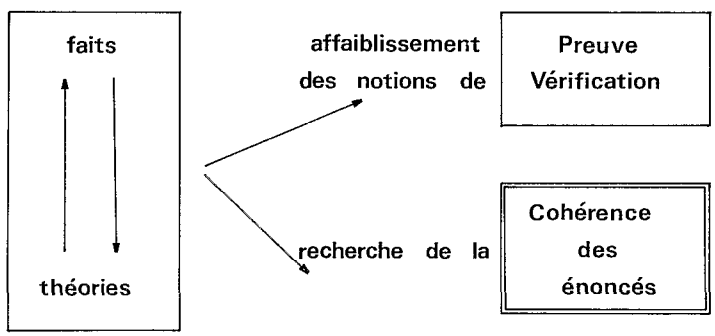
Voyons rapidement, en rappelant les grandes lignes de notre travail, pourquoi ces problèmes se posent maintenant. Nous avons d'abord voulu situer la science du sol dans *le champ conceptuel le plus vaste*. La science du sol est apparue conditionnée sans doute par sa propre histoire, mais dépendante aussi d'une « pensée du dehors » d'ailleurs souvent dualiste (réaliste-nominaliste), d'une « épistémè », caractéristiques de leur temps. Ensuite, nous avons cherché à montrer *comment la science du sol se met en action*. C'est une affaire de méthode, de pratiques opératoires, d'observation, d'expérimentation, etc. Nous en venons maintenant à une nouvelle étape de la démarche scientifique. Le contexte général étant pré-déterminé en fixant les grandes zones du possible et de ce qui ne l'est pas, lorsque l'expérimentation et l'observation sont terminées, lorsque les faits et les théories fondamentales sont réunies, vient *le moment où l'on argumente*, où l'on raisonne, où l'on constitue la « thèse ».

TABLEAU 6

Méthode expérimentale (suivant Cl. Bernard)

faits .. ——→ hypothèses .. ——→ théories

Epistémologie (après Bachelard)



Est-il nécessaire de s'aventurer en ce domaine ? Nous pensons que chaque pédologue l'a fait, à un moment ou à l'autre de ses réflexions, peut-être après être tombé sur un cas de contradiction flagrante et avouée entre spécialistes. Nous avons déjà mentionné dans les pages précédentes l'opposition radicale des conceptions autochtonistes et allochtonistes se référant à la genèse des formations superficielles tropicales. Le problème de l'origine actuelle ou ancienne des « latérites » s'est autrefois posé dans des termes tout aussi contrastés. Un ouvrage qui a fait longtemps autorité attribuait la formation de la plupart des latérites, sinon de toutes, au Tertiaire (*). Certains autres auteurs se sont opposés à cette position et ont présenté la formation de latérite comme un processus actuel (72). Les latérites posent un autre dilemne, qui se rapporte

(*) PRESCOTT (J. A.), PENDLETON (R. L.) - 1952 - Laterite and lateritic soils. Comm. Bur. Soil Sci., Techn. Comm. n° 47, Harpenden, 51 p.

non plus au temps, mais cette fois à l'origine de leurs matériaux. LEPRUN et NAHON (*) relancent ce problème en des termes qu'il nous suffira de citer. « ... il apparaît que, pendant la première moitié du siècle, l'origine autochtone des cuirasses par altération tropicale des roches et concentration du fer *in situ* a prévalu. A partir de 1950, sous l'influence de J. D'HOORE et R. MAIGNIEN une nouvelle direction apparaît, celle des migrations latérales du fer et son accumulation absolue dans un matériau autochtone ou allochtone ». Au cours de leur travail personnel, LEPRUN et NAHON montrent que « la nodulation se fait *in situ*... avec dissolution du quartz ». Ils concluent ainsi : « et l'on parvient à une interprétation autochtone du cuirassement dans les cas étudiés ». Comment comprendre de telles divergences, l'abandon de certaines théories puis leur réapparition, y a-t-il une méconnaissance de certains faits, y a-t-il une erreur dans un raisonnement ou dans l'autre, ou bien faut-il penser que personne ne détient vraiment les données du problème ? Les cas contradictoires ne sont pas les seuls dont la réflexion épistémologique doit s'occuper. Nous le verrons plus loin, et nous terminerons pour l'instant notre présentation de ces questions en citant le pédologue B. E. BUTLER (**) qui note une « *absence générale de preuves* » dans les études pédologiques. Il est vrai que BUTLER se situe au pôle du scepticisme, et nous nous souvenons l'avoir vu mettre plus globalement en doute tout le caractère rationnel de la science des sols *(op. cit.)*. Le scepticisme des uns peut néanmoins servir d'amorce à la réflexion des autres.

LE SYNTAGME DU RAISONNEMENT

Paradigme et syntagme

La linguistique ne compte sans doute plus les emprunts qui lui sont faits. Ses concepts et ses termes se retrouvent maintenant dans des domaines variés. En dépit des distorsions qu'entraîne toute transposition, nous adopterons à notre tour deux de ses notions, celles de paradigme et de syntagme autour desquelles notre propos s'organisera commodément. Quelques rappels sont peut-être nécessaires. Un *paradigme* se définit comme un groupe d'éléments linguistiques qui peuvent être de nature phonologique ou, ce qui nous intéresse davantage, de nature sémantique. Le paradigme sera alors dans ce dernier cas un groupe dont les éléments sont plus ou moins strictement équivalents sur le plan de la signification ou sont tout au moins reliés par des associations d'idées. Le *syntagme* se définit quant à lui dans l'ordre linéaire du discours. Il est constitué de plusieurs unités significatives, reliées suivant une succession bien définie. Dans le travail habituel du linguiste, un syntagme apparaît comme un élément composé toujours très court, mais rien n'interdit de lui donner de plus larges dimensions ainsi que nous le ferons plus loin. Pour toutes ces notions linguistiques, le lecteur pourra se reporter utilement au récent Dictionnaire Encyclopédique des Sciences du Langage (37).

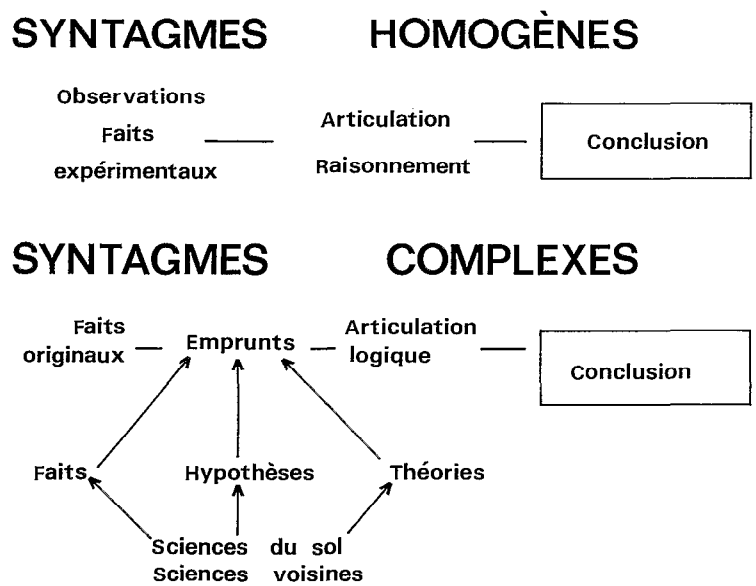
Il est facile de trouver un exemple de paradigme, tel qu'un linguiste peut le concevoir, dans le lexique de la science du sol. Les termes « argile, phyllite, inférieur à 2 microns, kaolin, smectite », en constituent sans doute un. En l'élargissant un peu, on verra se dessiner l'ensemble du champ conceptuel où se situent le travail et le raisonnement de certains spécialistes des sols. T. S. KUHN (60) a construit son épistémologie sur cette notion de paradigme, prise dans une acception sans doute un peu différente mais surtout très élargie par rapport à celle du linguiste.

(*) LEPRUN (J.-C.), NAHON (D.) - 1973 - Cuirassements ferrugineux autochtones sur deux types de roches. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 15, 3-4, pp. 356-361.

(**) BUTLER (B. E.) - 1957 - A diversity of concepts about soils. *J. Aust. inst. agric. Sci.*, 24, pp. 14-20.

Le paradigme de KUHN comprend tous les concepts, les théories, les méthodes, les techniques, qui rendent possibles les démarches scientifiques considérées. Le paradigme représente une sorte de réservoir, de fonds commun, de connaissances et d'habitudes intellectuelles. En sortir, c'est accomplir une révolution scientifique. Les dimensions et les fonctions du syntagme sont tout autres. Il associe des éléments précis, à l'image des maillons d'une chaîne. Pour donner cette fois encore un exemple, nous présenterons cette expression « fer adsorbé sur une particule d'argile », qui unit trois concepts principaux, comme un syntagme. Dans la nouvelle perspective définie par cette notion, il ne s'agira plus d'étudier les vastes concepts qui cernent un paradigme (ou une épistémè). Il faudra préciser *l'origine et la valeur de chaque élément des chaînes syntagmatiques*. C'est en effet sur des concepts articulés entre eux, sous une forme de syntagme, que l'on fonde les conclusions scientifiques. Les syntagmes que l'on pourrait faire apparaître dans la science du sol seraient sans doute variés à l'infini. Nous nous limiterons à les présenter sous une alternative qui nous semble essentielle. Les uns ne comportent que les éléments effectivement fournis par le jeu d'observations ou d'expérimentations qui réclame une conclusion. Les autres, beaucoup plus fréquents, introduisent des données étrangères (faits ou théories) à la démarche représentée.

TABLEAU 7



Syntagmes homogènes

Dans les meilleurs cas, l'ensemble du syntagme sur lequel va s'établir le raisonnement est composé de « faits » aussi objectifs que possible, et qui sont *sous le contrôle du même opérateur*. C'est en principe le cas des *expérimentations de laboratoire*, ce qui fait souvent leur supériorité en ce qui concerne la confiance qu'on peut leur accorder sur les observations du milieu naturel. Lorsqu'un expérimentateur place par exemple des gels d'alumine dans une éprouvette et qu'il en ressort ensuite de la gibbsite, il peut conclure sans risquer de s'égarer. On se souvient que l'altération des roches a posé à ceux qui l'étudiaient dans le milieu naturel un problème longtemps resté sans réponse. L'altération est-elle d'origine chimique, ou d'origine biologique ? Il pouvait s'agir d'une alternative simple, entre deux hypothèses s'excluant l'une l'autre. La méthode expérimentale a réuni sur ce problème des faits

bien contrôlés (voir 26). Des fragments de roche placés en soxhlets, sous de fortes percolations d'eau, en l'absence de corps organiques, libèrent les minéraux caractéristiques de certains sols. La conclusion à en retirer peut s'exprimer ainsi. Il existe des altérations réalisables en milieu azoïque par voie purement chimique. D'autres expériences ont fait intervenir des cultures microbiennes. Elles concluront : il existe aussi des interventions biologiques pouvant modifier ou accélérer les processus d'altération. Les syntagmes expérimentaux ne sont pas toujours aussi positifs dans leurs résultats. Des *limitations* apparaissent notamment lorsque les déterminations analytiques deviennent insuffisantes. C'est ainsi que certains expérimentateurs, cherchant à synthétiser la kaolinite aux conditions ordinaires de température et de pression, n'ont obtenu sur leurs diffractogrammes X que des images floues ou incomplètes. Avaient-ils obtenu de la kaolinite en très petite quantité, ou seulement des ébauches structurales du réseau kaolinitique, la question reste posée.

Le *milieu naturel* donne heureusement lui aussi l'occasion de réaliser bon nombre d'opérations relativement simples, totalement contrôlées, et univoques. L'étude de l'action des termites dans les sols (voir 15) peut à ce propos être prise comme exemple. L'observateur voit littéralement les termites transporter des matériaux et construire leurs édifices. Il peut dénombrer ces édifices, mesurer leurs volumes, et donner une mesure, pour un instant donné, des modifications apportées au sol par les termites. Les interventions de la faune sur les matières végétales sont également observables. Certains auteurs ont mesuré les quantités de litière attaquée par les termites. Les débris végétaux ingérés sont décomposés par les microorganismes symbiotiques des termites. Tous les éléments de la chaîne entrent dans l'observation : litières - termites - bactéries cellulolytiques - matières fécales. Dans un tel syntagme, il ne semble y avoir pratiquement aucun élément étranger, fait hypothétique, ou théorie préalable. C'est aussi probablement le cas pour la plupart des autres opérations « dynamique actuelle » que nous avons évoquées au chapitre précédent. Beaucoup d'études statiques du milieu naturel permettent encore l'établissement de syntagmes homogènes. Lorsque l'on observe par exemple des gels dans des fissures parcourant des feldspaths plagioclases, il y a peu de risques d'erreur à conclure : il existe des cas où l'altération des plagioclases produit des gels silico-alumineux. La micromorphologie se présente souvent ainsi : elle décrit certaines figures, et les interprète. On peut soutenir par exemple l'existence de deux générations successives dans une cuirasse donnée, l'une correspondant à un apport de fer et l'autre à un apport d'alumine, sans faire aucunement référence aux théories physico-chimiques de la mobilité de ces éléments, uniquement en raison des dispositions relatives des plages ferrugineuses et alumineuses.

Le lecteur a certainement remarqué que notre analyse reste relativement superficielle. Dans notre dernier exemple, nous avons implicitement admis qu'il est inutile de revenir sur la détermination des substances alumineuses et ferrugineuses. Au contraire de ceux-ci, nous verrons plus loin qu'interviennent parfois des critères méritant un examen au niveau d'une critique interne de la science du sol. La distinction entre ceux-ci et ceux-là est évidemment affaire de jugement, et ne peut être codifiée. Quant aux ultimes fondements épistémologiques des données utilisées, qui devraient être ceux recherchés dans une critique radicale de la science en général, ils resteront ici le plus souvent totalement inaccessibles. Il serait parfaitement vain pour nous de remettre en cause les notions de fer, d'aluminium, etc.

Nous avons essayé de montrer quelques exemples de syntagmes qui réunissent toutes les données, *où tout a été dit*. Il en existe beaucoup dans lesquels tout pourrait être dit, l'opérateur ayant sous son contrôle toutes les phases du procès (*), à ceci près que *les moyens analytiques*

(*) Nous employons ici le mot procès dans le sens qui lui donnent critique littéraire et philosophie. J.-P. SARTRE par exemple dit : « Il faudrait un procès infini pour inventorier le contenu total d'une chose » (L'Être et le Néant).

restent insuffisants. En reprenant l'histoire de la science du sol, on pourrait relever bien des problèmes longtemps cernés, mais qui n'ont trouvé de bonne solution que lorsqu'une nouvelle technique a permis de saisir l'élément-clé du syntagme. Si l'on considère par exemple le problème du bilan hydrique du sol, il apparaît que son syntagme comprend depuis longtemps les éléments : ruissellement - évapotranspiration - drainage vertical - drainage oblique. Chacune de ces composantes a été plus ou moins justement mesurée ou estimée indirectement, et voire négligée, au cours des études passées. A supposer qu'elle soit parfaitement efficace, une nouvelle technique comme celle introduite par E. Roose *(op. cit.)* pour mesurer le drainage oblique, permettra le passage d'une ancienne approximation à une nouvelle, un peu plus exacte que la précédente. Peut-être pourrait-on soutenir que toutes les recherches de nouvelles techniques analytiques sont motivées par le besoin de *préciser un syntagme déja clairement formulé*. Une remarque encore. Les pédologues raisonnent souvent en considérant un facteur pédogénétique particulier et la différenciation qu'il détermine dans les sols, *abstraction faite du reste du contexte pédologique*. Ceci se pratique couramment lors des recherches comparatives. L'influence de la position topographique sur la genèse des argiles s'étudie par exemple en comparant les phyllites des différents sites paysagiques, *toutes autres conditions étant égales* en ce qui concerne le climat, les roches, la végétation, etc. Le chercheur construit un syntagme dans lequel tout ce qui est significatif est dit, dont il contrôle effectivement tous les termes, à condition que l'équivalence des facteurs non analysés soit réelle, à condition qu'aucun facteur supplémentaire de différenciation ne passe inaperçu. Dans l'exemple que nous avons choisi, le chercheur se sentira autorisé à affirmer qu'il existe, sous tel climat, avec telle roche, etc., une séquence topographique normale d'altération dont il énumèrera les différents termes. L'histoire de la science du sol montre en réalité que la plupart de ces raisonnements sont provisoires. Les syntagmes successivement établis ne sont apparus complets que par élimination de plusieurs données, et cette élimination peut être abusive dans la mesure où l'on ignore certains processus. D'une approximation à l'autre apparaissent de nouveaux facteurs. Un dernier exemple nous servira à montrer la fragilité des syntagmes établis pour le milieu naturel. Récemment encore, un raisonnement isovolume indiquant dans un altérite un apport absolu d'alumine et de fer pouvait sembler inattaquable. Outre la rigueur du raisonnement proprement dit, il faut souligner que dans ce cas toutes les données sont effectivement sous le contrôle de l'opérateur. Il est apparu par la suite que des tassements peuvent se produire, avec conservation apparente de la structure, ce qui fausse bien entendu les bilans géochimiques (voir 26).

Résumons-nous :

— un syntagme homogène, c'est une série de données propres, qui *suffisent à formuler un problème*,
— dans les meilleurs cas, le syntagme énonce vraiment *tous les éléments* du problème,
— dans des cas moins favorables, certains éléments du problème sont *imparfaitement appréhendés* en raison des déficiences de l'analyse,
— dans d'autres cas enfin, le syntagme constitue *un choix*, entre les éléments considérés comme significatifs et qui sont donc retenus, et ceux supposés (à plus ou moins juste titre) ne pas intervenir dans le problème posé.

Syntagmes complexes

Un exemple introduira ces nouveaux syntagmes. Il nous est donné par une étude (*) particulièrement intéressante de minéralogie pédologique. Avec soin et compétence, les auteurs de l'étude décrivent l'altération des micas noirs en fonction de conditions climatiques très étendues, des pays tempérés aux pays tropicaux humides. Les observations de terrain et les nombreuses déterminations analytiques réalisées

(*) Novikoff (A.) & Coll. - 1972 - Altération des biotites dans les arènes des pays tempérés, tropicaux et équatoriaux. *Sciences Géologiques*, 25, 4, pp. 287-305.

sont présentées très objectivement. Au milieu de tous ces « faits » de terrain et de laboratoire, le lecteur rencontre la phrase suivante. « Dans le cas des solutions concentrées, le silicium peut entrer dans les tétraèdres et remplacer ainsi l'aluminium qui migre vers les sites octaédriques ». Cela peut-il être admis sans plus de discussion ? Il faut noter que les auteurs ont analysé les minéraux, mais non les solutions dans lesquelles ceux-ci ont pu se trouver. Sans doute est-il connu que des solutions concentrées existent dans la nature. Il est possible, mais non directement prouvé que les minéraux en question se soient trouvés à leur contact. La deuxième remarque à faire peut être de se demander comment l'on a pu « voir », ou comment l'on a pu détecter ce passage des ions entre les solutions, les cavités tétraédriques et les cavités octaédriques, et comment l'on explique le franchissement des barrières constituées par les ions oxygènes ou oxhydriles tétra ou octaédriques.

A ces dernières questions, il n'y a sans doute pas de réponse positive et catégorique à donner. Personne ne semble encore en mesure d'apporter aux processus de déplacement des ions dans les phyllites, de « preuve » et d'« explication » au sens fort de ces deux termes. En réalité, les auteurs de l'article cité ont invoqué des « faits » d'observation connus par la littérature (charge ionique des solutions des sols) et une « théorie » de la géochimie de surface (« transformation » des phyllites dans les conditions ordinaires de température et de pression). Cette dernière théorie ne provient pas d'une étude directe de mécanismes intra-minéraux. Elle a été établie à partie de multiples données, constituant un faisceau convergent de présomptions plutôt qu'une véritable démonstration (*). Ajoutons tout de suite qu'il nous semble que NOVIKOFF et ses collaborateurs ont eu parfaitement raison de faire appel à ces « faits » et cette « théorie » au cours de leur travail. Il est seulement nécessaire de *distinguer* clairement *leurs propres matériaux de ceux qu'ils empruntent* à l'extérieur, que ces derniers soient encore très proches de données élémentaires ou qu'ils soient au contraire repris dans une vaste théorisation. Le *syntagme* ainsi constitué comprend donc :

— *des données* de terrain et de laboratoire, qui montrent des séquences minérales ordonnées suivant le climat et certains autres paramètres,

— des données élémentaires pédoclimatiques empruntées à *un corpus de connaissances*, sans vérification pour les cas étudiés,

— *une théorie générale antérieure*, à laquelle est demandée confirmation de la validité ou de la vraisemblance des données originales obtenues, et qui va lier l'ensemble du syntagme dans une compréhension générale.

On ne peut manquer de voir qu'apparaît ici une amorce de raisonnement circulaire, tel que nous aurons l'occasion d'en retrouver plus loin. La théorie géochimique à laquelle il a été fait appel ne s'appuie évidemment pas sur les résultats obtenus par NOVIKOFF, qui sont postérieurs par rapport à elle. Mais elle provient tout de même en bonne partie de l'interprétation de faits très proches, intrinsèquement et même géographiquement, de ceux rapportés par NOVIKOFF. Il y a là édification d'un système, qui a sa cohérence interne, mais dont la structure logique n'est pas simple. Le mouvement alterné des faits à la théorie et de la théorie aux faits a un caractère qui n'est pas totalement dénué d'ambiguïté. Le chercheur pense cautionner son

(*) Certains de nos lecteurs seront peut-être étonnés par cette affirmation. Nous ne pouvons pas faire ici toute l'analyse d'une théorie géochimique de cette importance. Contrairement à ce qu'un examen trop rapide pourrait faire croire, nous noterons qu'elle n'est pas confirmée de facon complète sur le plan expérimental. En effet, si l'on obtient au laboratoire une « transformation » des micas (vermiculitisation), c'est uniquement par ouverture des feuillets après extraction des ions interfoliaires. Mais l'on n'est pas encore parvenu (dans des conditions comparables à celles des sols), à changer les populations tétra et octaédriques, à faire passer les individus de l'une à l'autre.

travail et ses hypothèses par référence à une certaine théorie, sans bien voir qu'il interroge à deux reprises les mêmes faits (*).

Nous avons donc trouvé dans le travail de NOVIKOFF et de ses collaborateurs un syntagme complexe, comme il en existe beaucoup en science du sol. Il fait intervenir, à côté des données propres au travail en question, un corpus général de connaissances et de théories. Nous avons vu aussi qu'un tel syntagme peut servir de point de départ à une longue discussion épistémologique. Arrêtant là cette discussion, nous essaierons plus simplement de dresser un catalogue sommaire des principaux syntagmes complexes couramment rencontrés.

Il en est qui n'introduisent que des « *faits* » *étrangers* au procès en cours. C'est ce qui se passe souvent, par exemple, lorsque l'on étudie des toposéquences tropicales en faisant mention des critères de pédoclimat et de minéralisation des solutions du sol. Les moyens de déterminer ces critères sont rarement disponibles, ils supposeraient d'ailleurs des observations réparties sur des cycles climatiques complets. Pour donner une interprétation géochimique aux toposéquences, on affirme couramment que les profils de hauts de pente sont rapidement drainés par des solutions peu minéralisées, et que ceux de bas de pente sont temporairement ou partiellement engorgés par des solutions plus minéralisées. Cela a été effectivement observé au cours d'études particulières, dont on a ensuite adopté les résultats comme faits généraux. Il est certain que cette méthode, consistant à invoquer des faits supposés et non vérifiés, comporte parfois des risques.

Il y en a plus encore sans doute lorsque c'est *une* « *hypothèse* » *ou une* « *théorie* » *étrangères* que l'on introduit dans le syntagme. Une nouvelle fois, nous prendrons un exemple parmi les travaux de G. PÉDRO *(op. cit.)*. Au cours de l'altération expérimentale réalisée par cet auteur sur des roches feldspathiques, l'aluminium libéré reste massivement en place, ce qui semble normal puisqu'il se trouve dans son domaine théorique d'insolubilité (première référence à une théorie étrangère). Il y en a aussi une petite partie qui migre. Pour rendre compte de ce dernier phénomène, PÉDRO reprend une hypothèse émise par G. W. DE VORE, celle de l'existence de chaînons silice-alumine directement libérables par l'altération des feldspaths. PÉDRO envisage alors la possibilité d'une migration d'aluminium en quelque sorte complexé par la silice, laquelle est soluble. On voit très bien que l'élément étranger occupe, dans le syntagme construit par PÉDRO, une place très apparente et en quelque sorte superficielle. Il s'agit d'une hypothèse d'emprunt, qui n'intervient que pour être reformulée pour un contexte particulier. Mais il arrive tout aussi souvent que l'hypothèse ou la théorie empruntées soient insérées beaucoup plus intimement au procès en cours. Nous illustrerons ceci par le travail de J. DELVIGNE (**). Nous avons déjà souligné (voir 26) que DELVIGNE présente des séquences pédologiques conçues, avant la lettre, comme des « unités biogéodynamiques ». Une analyse rapide du syntagme édifié par DELVIGNE montre que toutes ses données personnelles sont d'ordre minéralogique, elles se rapportent aux constituants minéraux des altérites et des sols. A ces données propres, s'ajoute un certain nombre d'éléments hypothétiques ou théoriques, notamment à propos du pédoclimat de chaque site topographique, de l'édification et du déplacement de complexes organo-métalliques, de la mobilité et de la réactivité de la silice. Les séquences sont décrites comme des unités

(*) Nous pensons avoir présenté ce dernier aspect de la question en des termes suffisamment nuancés (... *une amorce* de mouvement circulaire..., ... *pas totalement* dénué d'ambiguïté...) pour ne pas donner à croire à une condamnation de la démarche considérée. Dans une autre perspective, on ne manquera pas de dire que l'accumulation des faits renforce la théorie. Encore qu'ajouter le même au même n'est pas philosophiquement très convaincant... Il en va tout autrement quand on interroge une théorie, suivant le principe de Cl. BERNARD, pour en tirer des implications *nouvelles* que l'on vérifie ensuite. La science du sol n'ignore pas cela.

(**) DELVIGNE (J.) - 1965 - Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. Mém. ORSTOM n° 13, 177 p.

fonctionnelles, sous leur aspect dynamique. La silice a dans ce fonctionnement un rôle particulièrement important, et c'est sur ce point particulier que nous voulons insister. L'auteur ne dispose pas de déterminations, ni quantitatives ni qualitatives, de la silice en solution. Il se réfère donc à un corpus de connaissances physico-chimiques. Il suppose alors que la seule forme de silice réactive, capable de se combiner avec l'alumine pour constituer une néoformation argileuse, c'est la silice solubilisée à l'état monomère. D'un autre côté, la dépolymérisation de la silice libérée par l'altération est considérée comme relativement lente. Ces deux propositions ont des conséquences considérables. Elles font qu'il devient peu probable que la silice libérée en un certain point ne donne des néoformations *in situ*. La silice ne devient réactive qu'après un certain temps, et par conséquent après un certain parcours dans les séquences. Dans les sites où se forme la kaolinite, il doit alors y avoir simultanément départ de la silice autochtone qui n'est pas encore dépolymérisée et qui ne réagit donc pas, et apport de silice monomère. Ces interprétations ne sont pas des transpositions directes de certains faits ou de certaines théories physico-chimiques. Elles sont étayées par les faits de terrain montrant des séquences gibbsite-kaolinite du haut de pente au bas de pente. Il y a donc une articulation très étroite entre données propres et données théoriques étrangères.

Bien des travaux ne se contentent pas d'emprunts limités. Il en est qui se situent *au sein d'un corpus scientifique* déjà fortement diversifié et structuré, sans lequel le problème que ces travaux prétendent résoudre *n'aurait même pas pu être formulé*. Reprenons à ce sujet l'étude de M. ICOLLE *(op. cit.)*. Elle utilise comme indices des paléopédogenèses quaternaires des galets, différemment altérés, répartis dans des formations d'âges variables. Sans doute s'agit-il là d'une démarche originale, qui possède ses propres faits, et qui prend le risque de ses interprétations. Mais on ne peut manquer de voir aussi qu'elle est prise entre deux grands ensembles théoriques : d'un côté, toute la théorie de l'altération, avec notamment la hiérarchie établie entre des stades d'une altération, plus ou moins intense ou plus ou moins avancée dans le temps, et d'un autre côté toute la théorie quaternariste, avec l'étagement chronologique des différents dépôts et terrasses. Que l'une ou l'autre de ces deux grandes théories soient démentie, et le travail en question s'effondrerait en même temps.

Concluons :

— une épistémologie *régionale* ne peut s'instituer en critique générale de la science. Elle est contrainte d'*accepter* sans remise en cause *les données les plus fondamentales*. Ces données seront par exemple, pour la science du sol, les éléments chimiques, les espèces minéralogiques, etc.

— certaines notions au contraire entrent *dans le champ où peut s'exercer le jugement* critique du spécialiste des sols. Lorsque l'une d'elles est invoquée, alors qu'elle est étrangère au protocole d'observation ou d'expérimentation en cours, il y a constitution d'un syntagme complexe.

— les syntagmes complexes font intervenir des « *faits* » transposés à plus ou moins juste titre, des « *hypothèses* » ou des « *théories* » dont le degré de confiance doit être apprécié, ou même tout un « *corpus scientifique* » structurant de multiples faits et interprétations (*).

(*) A l'issue de cet examen de syntagmes complexes rencontrés dans des travaux pédologiques, un rapide parallèle peut être tenté avec une analyse faite dans le cadre des sciences humaines. J. PARAIN-VIAL (74) y montre, inclus dans le discours scientifique, des « emprunts de schémas interprétatifs ». Leur origine peut se situer parmi certaines idées métaphysiques, ou parmi les données du sens commun. Nous retrouverons plus loin ce problème des contaminations issues de l'expérience commune.

LE STATUT DE L'HYPOTHÈSE

A une certaine époque, les pédologues tropicalistes étudiant les sols ferrallitiques et ferrugineux introduisaient fréquemment dans leurs argumentations la notion de « fer labile ». Il est connu que le fer existe dans les sols sous plusieurs formes, et que l'on peut distinguer par exemple le fer amorphe, le fer que l'on dit libre (extractible par complexation et réduction), le fer total (comprenant aussi celui engagé dans les silicates). Quelle était la forme chimique et minéralogique de ce fer dit labile, cela n'a pas été précisé. L'existence de cette forme particulière a été supposée à partir de données de terrain. Dans certains sols en effet, il semblait que le fer soit rapidement immobilisé (sols ferrallitiques) alors que dans d'autres il était capable de se déplacer (sols ferrugineux). C'est pour ce dernier cas que l'on a supposé l'existence d'une forme particulière du fer, la forme labile. Il est clair que l'on est passé de données de terrain à une notion qui normalement devait se définir minéralogiquement. Il s'agissait donc d'*une hypothèse*, c'est-à-dire d'*un concept dont la vérification reste à trouver*. Peu nous importe que l'hypothèse ait été bonne ou mauvaise dans ce cas particulier. Mais d'une façon plus générale, où trouve-t-on des hypothèses dans la science du sol ? On serait tenté de répondre *partout*. La fonction de l'hypothèse est essentielle dans la démarche scientifique, on le sait depuis les explications de Cl. BERNARD (7) sur la méthode hypothético-déductive, et ce ne sont pas les pédologues engagés dans les recherches de pédogenèses qui songeront à le contester. Nous avons souvent rencontré des hypothèses dans les exemples donnés précédemment. Il nous semble qu'elles prennent une importance spécialement grande dans les deux situations que nous examinerons maintenant.

Tout ce qui se rapporte au *temps pédologique* reste souvent bien hypothétique. Les laboratoires ne proposent qu'une seule technique de datation applicable aux problèmes pédologiques. Il s'agit du dosage du C 14 qui a servi quelques fois pour donner un âge aux carbonates ou aux matières organiques de certains sols. L'acquis obtenu par cette méthode est encore très limité. La nature propose parfois des repères, à partir desquels il est possible de marquer chronologiquement le point de départ d'une pédogenèse. Il peut s'agir de coulées volcaniques, de dépôts glaciaires ou fluviaux, dans la mesure où ils sont eux-mêmes datés avec précision. Cette fois encore, l'acquis obtenu n'a qu'une faible part dans la science du sol. Les méthodes de la dynamique actuelle sont plus prometteuses.

N. LENEUF et G. AUBERT (*) ont ouvert la voie en ce sens, proposant une estimation de la vitesse de ferrallitisation par la mesure des éléments solubilisés lors de l'altération puis entraînés par les eaux de surface. La démarche a été reprise par la suite, en y associant ce que l'érosion provoque comme décapage mécanique, notamment par G. SIEFFERMANN *(op. cit.)*. Par extrapolation dans le passé, on obtient une image de ce qui peut se passer à l'échelle du paysage pendant de longues périodes. Les conclusions que l'on établit ainsi ne sont évidemment pas rigoureuses, elles sont hypothétiques. Mais c'est encore aux méthodes de la pédologie générale que l'on fait le plus souvent appel pour décider si un sol doit être dit jeune ou vieux, s'il appartient à des surfaces que l'on définira comme anciennes ou récentes. Plus précisément, ces surfaces seront attribuées à des épisodes glaciaires ou interglaciaires en zone tempérée,

(*) LENEUF (N.), AUBERT (G.) - 1960 - Essai d'évaluation de la vitesse de ferrallitisation. 7th Intern. Congr. Soil Sci., Madison 4, pp. 225-228.

à des épisodes pluviaux ou interpluviaux en zone tropicale. Il est probable que chaque pédologue ressentira combien les conclusions en ce domaine peuvent être incertaines. La datation de beaucoup de surfaces géomorphologiques n'est pas rigoureuse. Il faut ajouter que les sols d'une surface donnée sont susceptibles d'être formés à partir de matériaux apportés, pédologiquement évolués avant leur dépôt. A l'inverse, certains sols ne commencent à se différencier morphologiquement que longtemps après le premier façonnement de la surface qu'ils occupent.

F. BOURGEAT (*) est sans doute l'un des auteurs ayant le plus intimement associé les reconstitutions paléo-climatiques et paléo-physiographiques aux processus pédologiques. Ses bases essentielles pour retracer l'histoire du quaternaire malgache sont fournies par des systèmes de terrasses et de dunes, avec l'appoint d'éléments qui sont déjà interprétatifs de la pédogenèse, « stone-line », « lavaka », etc. Voici comment l'auteur présente la genèse de la gibbsite, qui est si fréquente dans les horizons supérieurs des sols ferrallitiques malgaches. Trois épisodes climatiques sont invoqués. Le premier, humide (ambovombien ou pré-moramangien), est responsable de la formation de profondes altérations dans lesquelles subsistent des « minéraux dégradés ». Le second, plus sec (c'est le sambainien), décape les anciens sols et met à jour ces altérations. Le troisième, à nouveau humide (c'est le pluvial post-sambainien), complète l'hydrolyse des minéraux dégradés et fait apparaître la gibbsite. « La formation de gibbsite dans l'horizon appauvri paraît liée à une évolution, au cours du pluvial post-sambainien, des minéraux dégradés, accompagnée d'un lessivage oblique intense... La faible turbidité actuellement constatée dans les eaux de drainage oblique de ces sols marquerait... l'aboutissement d'un processus qui aurait eu son maximum d'intensité durant la période de pédogenèse post-sambainienne ». Dans une argumentation qui retrace des processus aussi complexes et aussi étendus dans le temps, les hypothèses, bien entendu, ne manquent pas.

Nous considérerons maintenant la deuxième situation précédemment annoncée. Paradoxalement peut-être, c'est au plus haut niveau de conceptualisation et de généralisation de la science du sol que se réunissent bon nombre d'hypothèses, pour ne pas dire d'incertitudes. Nous voulons parler de *la classification*, dans la mesure où il s'agit de classification génétique ou morpho-génétique. Retrouver tout ce que les diverses tentatives de ce genre de classification ont eu d'hypothétique, serait reprendre les nombreuses critiques qui ont conduit à des systèmes d'inspiration nominaliste, 7 th Approximation, taxonomies numériques, etc. Le dossier complet serait trop lourd à présenter ici, et nous ne l'adopterions certainement pas dans son intégrité, sous la forme radicale qui est celle d'auteurs comme G. D. SMITH *(op. cit.)*. Nous nous contenterons de rappeler le caractère changeant des classifications qui veulent donner une interprétation de la genèse des sols. Plutôt que de réaliser des nominations strictes et précises, il semble alors que leur rôle soit de créer une plateforme de discussion des hypothèses fondamentales de la science du sol.

Dans l'élaboration de la connaissance scientifique, *le rôle de l'hypothèse* n'est pas partout le même. Il peut consister à définir de nouvelles orientations de recherche, sans remise en cause de ce qui est acquis. Dans une science expérimentale vraie, l'hypothèse précède de nouvelles manipulations, qui vont la confirmer ou la rejeter. La science du sol quant à elle reçoit *peu de confirmations expérimentales*, au sens où l'on dira par exemple que les moteurs à explosion confirment les principes thermodynamiques ou que le microscope confirme les lois de l'optique. La science du sol se juge plus par la cohérence de ses énoncés que par des succès dans le domaine des applications. Il est malheureusement impossible d'établir globalement l'indice de certitude, ou si l'on préfère à l'inverse, d'estimer le contenu hypothétique d'une

(*) BOURGEAT (F.) - 1970 - Contribution à l'étude des sols sur socle ancien à Madagascar. Thèse Sci., Strasbourg, 310 p. *multigr.*

science de la nature aussi complexe. Tout au moins peut-on se rendre compte que les suppositions, les hypothèses, s'insèrent un peu partout, et parfois très densément, dans la trame des énoncés pédologiques.

Le *rôle psychologique* de l'hypothèse, *dans l'acte humain* que constitue toute action de recherche, ne doit pas être ignoré. Nous avons, quelques paragraphes plus haut, pris le travail de F. BOURGEAT comme illustration d'une démarche largement hypothétique, lorsqu'il tente de replacer dans le temps les processus pédogénétiques. Notre exemple resterait incomplet si nous ne citions au moins quelques mots de la conclusion générale de BOURGEAT. « Il apparaît que la formation des sols appauvris pourrait résulter de périodes humides où l'altération a été intense et de périodes displuviales favorables au déblaiement sur les interfluves. Là encore ce processus rend compte des observations de terrain, mais sa réalité n'est pas prouvée de façon définitive ». L'auteur montre là une lucidité et une honnêteté qui méritent d'être saluées. Le scientifique cherche plus souvent à forcer la conviction de ses lecteurs qu'à leur proposer une argumentation justement contradictoire. Sans doute doit-il exposer les bases de son raisonnement, mais il lui reste évidemment bien des manières de présenter le passage des « faits » à cette « thèse » que l'Université l'invite à soutenir. Il en est souvent de même dans les traités des grands maîtres de la science. Ceux-ci ont généralement déployé beaucoup de combativité pour faire disparaître une théorie antérieure devenue périmée, ce qui ne les incite probablement pas à faire connaître les scrupules et les doutes qui ont (peut-être) jalonné leur propre démarche. Dans les Thèses comme dans les Traités, les nouvelles vérités tombent de façon bien péremptoire. Au contraire de celle qui se fait véritablement dans les laboratoires et sur le terrain, la science que l'on lit donne trop facilement l'impression trompeuse d'un système achevé.

Philosophie et logique nous ont pourtant appris à établir des nuances. Chacun pourrait retrouver dans sa mémoire, ou à défaut dans un manuel ou un dictionnaire, les trois catégories modales d'Emmanuel KANT. L'apodictique qui énonce une évidence, l'assertorique qui affirme, la problématique qui n'exprime qu'une possibilité. Les logiques modales contemporaines elles aussi invitent à introduire, entre le vrai et le faux, des jugements supplémentaires. Le logos pédologique pourrait s'en inspirer. Il reconnaîtrait alors à son tour *le véritable statut de l'hypothèse*. Ne cherchant plus toujours à imposer des convictions, il montrerait en chaque énoncé ce qui reste hypothétique, à différents degrés de probabilité peut-être. Dans cette perspective, une certaine unité de sol, ou un processus donné, pourraient se présenter en une analyse séparant ce qui serait considéré comme donnée objective, opérationnellement définie, de ce qui resterait interprétatif.

L'ANALYSE ÉPISTÉMOLOGIQUE

Feuilletant un jour un livre de W. L. KUBIÉNA (*), nous avons relevé (p. 165) le début de phrase suivant. « Profile : very young soils... ». Le premier terme de cette proposition annonce un profil. C'est-à-dire des données morphologiques, qui doivent être objectives, dans la mesure où les descriptions sont définies opérationnellement par référence à un protocole descriptif normalisé. Le second terme de la proposition inverse complètement le mouvement. Au lieu des données objectives annoncées, il formule un jugement interprétatif et génétique sur l'âge des sols. Sans doute l'auteur savait-il clairement ce qu'il avait à dire, et sans doute le

(*) KUBIENA (W. L.) - 1953 - The soils of Europe. Thomas Murby, London, 318 p.

lecteur s'y retrouve-t-il lui aussi. Mais cela n'enlève pas à l'anecdote la signification que nous voudrions lui donner, qui est d'illustrer *le désordre épistémologique* dans lequel les spécialistes des sols travaillent souvent. Beaucoup d'entre eux ne semblent pas se soucier de le clarifier, ni sur la plan des concepts, ni sur celui du langage. Il est des hommes de bureau qui vivent dans un immense fouillis paperassier, se confiant à leur mémoire et leur habileté pour retrouver les bons documents au moment opportun. C'est peut-être une image analogue que l'on pourrait donner de la science du sol en certaines occasions. Confiant dans son propre jugement, qui doit lui éviter tout faux-pas, le pédologue navigue dans un champ conceptuel hétérogène. Ses argumentations réalisent des opérations, que l'on dira logiques ou rationnelles, entre des données de terrain, de laboratoire, personnelles ou étrangères, des théories, etc. S'il y a désordre épistémologique, il faut espérer que ce soit uniquement au niveau de l'exposition et du langage, comme dans l'exemple que nous venons de donner. Encore vaudrait-il mieux s'en assurer.

L'analyse épistémologique doit *prendre le discours pédologique pour objet*. Elle doit rechercher ses liens logiques intérieurs, vérifier l'objectivité des faits invoqués, contrôler l'origine des informations théoriques impliquées, dégager les hypothèses et leurs vérifications s'il s'en présente. Notre canevas analytique s'est esquissé, au long de ce chapitre et du précédent. Il nous reste à préciser quelques points de méthode, et à proposer de courtes analyses en exemples.

Les moyens de l'analyse

« Votre thèse est trop bien écrite, et tout ce qui est bien écrit a toutes les chances de n'être qu'un tissu de mensonges. C'est en ces termes que l'un des membres siégeant au jury d'une thèse de sciences naturelles condamnait récemment un candidat ». Cette anecdote (est-elle vraiment authentique ?) a été citée par R. Etiemble (38), dont on comprend d'autant mieux l'indignation que l'on connaît bien sa lutte pour la défense de la langue française. S'il fallait prendre position nous nous rangerions bien entendu de son côté et du côté du candidat malheureux (*). Mais à titre de paradoxe nous pouvons aussi soutenir la réaction de défiance du membre du jury. Nous avons déjà dit que beaucoup de textes scientifiques sont ainsi présentés qu'ils tendent plus à convaincre qu'à donner les éléments d'une juste appréciation, qu'ils manient plus volontiers l'assertorique que le problématique. Il semble d'ailleurs que cela tienne davantage à l'autorité du ton qu'à la qualité du langage. Des textes peu littéraires à vrai dire, hachés par la numérotation des paragraphes, les titres et les sous-titres, les renvois à la ligne, sont généralement plus péremptoires que ceux écrits dans une langue plus élaborée et nuancée. Toujours est-il que notre membre du jury n'a pas entièrement tort de se méfier de la mise en forme de certains travaux. Comment *éliminer l'influence parasite d'une présentation trop habile ?* La réponse est simple, en principe tout au moins : il faut *se servir d'un langage formalisé.*

C'est évidemment à un langage formalisé tel que la logique moderne en établit que nous faisons allusion. Nous ne prétendrons pas étendre nos compétences jusqu'à exposer ce que peut être la logique, alors qu'il existe tant d'ouvrages autorisés, qui sont si faciles à trouver. La plupart de nos lecteurs ne se préoccupant probablement guère de ces questions, nous nous permettrons pourtant quelques très simples remarques. La logique formelle construit des systèmes abstraits, détachés de tout contenu empirique. C'est ainsi qu'elle établit par exemple la démonstration du syllogisme aristotélicien ou de la loi du tiers exclu, que n'importe quel néophyte pourra comprendre s'il veut bien faire quelques efforts d'initiation. Dans cette voie, le travail de la logique formelle se poursuit évidemment très loin, bien au-delà de ce qui peut

(*) Complétons ceci par la remarque de P. de Bruyne (20) : « Le mode d'expression est souvent un corrélat du mode de réflexion ». En d'autres termes, la qualité de la forme peut être gage de la qualité du fond.

présenter un intérêt direct pour nous. Mais fort heureusement aussi, la logique peut sortir du champ de ses abstractions pour s'appliquer à des problèmes plus concrets. Nous avons trouvé chez deux auteurs les bases de départ de cette nouvelle entreprise. R. BLANCHÉ (11) a donné de la science des visions générales que nous avons déjà eu l'occasion de citer. Mais aussi, et c'est ce qui nous intéresse le plus maintenant, il cherche d'une façon originale à jeter un pont entre les logiques formelles abstraites et *la logique opératoire naturelle* que l'on applique dans la vie courante et dans la plupart des actes scientifiques. De l'ouvrage de I. SCHEFFLER (88), nous avons retenu quelques exemples très simples de formalisation de certains énoncés de type scientifique. En voici un. SCHEFFLER utilise la phrase suivante, peut-être extraite d'un ouvrage de physiologie végétale :

« Une condition nécessaire à la réalisation de la photosynthèse dans les plantes est la présence de chlorophylle. »

Quelques symboles sont nécessaires :

P signifiera « est une plante »,
Ph « accomplit la photosynthèse »,
et C « contient de la chlorophylle ».

La structure logique de la proposition s'établit alors ainsi :

(x) (Px. Phx ⊃ Cx), ce qui peut se lire : « pour tout x, si x est une plante et si x accomplit la photosynthèse, alors x contient de la chlorophylle ».

Se contenter de mettre sous cette forme un certain nombre d'énoncés de la science du sol resterait *parfaitement inutile*. Mais l'exemple que nous avons pris est beaucoup trop simple. Il emploie deux opérateurs seulement (la conjonction, notée par un point, et l'implication, figurée par ⊃), pour relier trois prédicats. L'information scientifique représentée est réduite, et surtout complètement isolée. Nous pensons que l'on peut composer des systèmes beaucoup plus complexes, tant au point de vue de la *syntaxe logique* que sur le plan de l'*information* traitée. Rappelons encore qu'il existe une logique modalisée : les deux opérateurs utilisés plus haut sur le mode strict (apodictique) pourraient être problématisés. Parmi bien d'autres éléments syntaxiques possibles, mentionnons les deux quantificateurs, existentiel et universel. Considérons par exemple la proposition suivante, parfaitement banale dans la littérature pédologique tropicale :

« Les plagioclases s'altèrent en gibbsite », avec les symboles :
x pour « les plagioclases »
et f pour « s'altèrent en gibbsite ».

Le langage habituel oublie une précision que les quantificateurs existentiel E et universel U devront donner :

Ex f(x) : il existe des plagioclases qui s'altèrent en gibbsite,
Ux f(x) : tous les plagioclases s'altèrent en gibbsite.

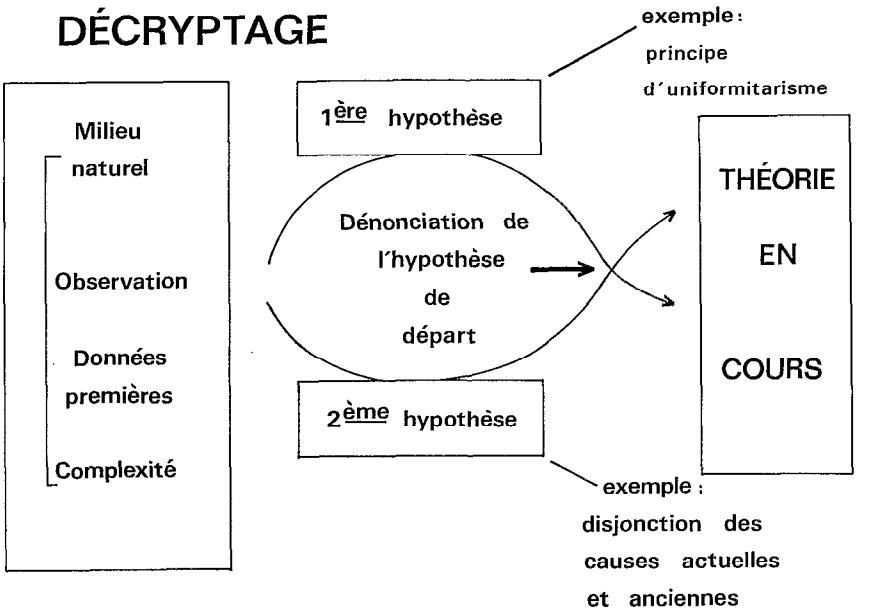
Ce dernier exemple reste lui aussi tout à fait élémentaire. Nous nous contenterons de lui demander de montrer qu'une formalisation logique, utilisant ces quantificateurs et/ou des opérateurs modalisés forcera à départager ce qui est hypothétique de ce qui est certain, ce qui est aléatoire de ce qui est général, etc. Formalisée ou non, une analyse épistémologique n'a d'intérêt qu'en proportion de l'intérêt de son contenu, c'est-à-dire en fonction de la valeur et de l'étendue de l'information qu'elle traite. Il faut parvenir à donner *l'image d'un espace scientifique multidirectionnel*, dans lequel s'assemblent des éléments d'origines variées ainsi que nous l'avons dit plus haut, et non seulement composer des syntagmes linéaires limités. Nous pensons que des graphes combinant des expressions logiques à multiples variables peuvent parvenir à des représentations satisfaisantes.

Il faut maintenant avouer que nous ne dépasserons pas ici (*) ces déclarations d'intention et ces premières indications méthodologiques (**). La modestie de notre objectif, qui est de présenter une « introduction » à de futures analyses, suffira peut-être à nous en excuser auprès du lecteur. Abandonnant là les langages formalisés, nous poursuivrons notre étude, dans son langage discursif habituel, en donnant quelques exemples sur les thèmes suivants :

— le décryptage,
— les circuits de dérivation,
— l'effet de système,
— les raisonnements circulaires.

Le décryptage Les historiens des sciences cherchent à montrer les cumulations (***) et surtout les discontinuités (****) du processus de la connaissance. Pourtant ils n'expliquent pas toujours très bien *comment l'on pénètre dans un domaine nouveau*, comment l'on parvient à dérouler l'écheveau embrouillé des faits naturels. Bien des questions se posent lorsque, grâce à un cours magistral ou par la lecture d'un traité, on accède de façon directe et

TABLEAU 8



(*) Faute d'avoir trouvé le temps de progresser dans cette voie.

(**) Ajoutons encore un rappel d'une tentative faite par L. GLANGEAUD. Reconnaissant dans la structure et l'histoire de la Terre des niveaux temporo-spatiaux hiérarchisés, l'A. propose un système symbolique pour les représenter. Il écrit par exemple (T) $^{d}_{a}$ pour une entité spatiale, $^{h}_{l}$ (B) pour une durée biogéologique, et pour un étage géologique, qui correspond à un espace-temps, $^{h}_{l}(E)^{d}_{a}$. Les symboles choisis, il resterait à traduire en langage logique, sinon l'ensemble, au moins une partie significative des connaissances acquises. Ce travail malheureusement ne semble pas avoir été poursuivi. Voici ses références : GLANGEAUD (L.) - 1949 - Épistémologie des sciences naturelles et structure du réel. Congr. Philos. Scient. (Paris), pp. 127-139.

(***) On ne peut ignorer que la science apporte de plus en plus de données...

(****) ... mais, que ce soit en s'inspirant de K. MARX, de G. BACHELARD ou du structuralisme, c'est principalement sur les discontinuités du progrès scientifique que l'épistémologie contemporaine focalise l'attention.

globale à un secteur des sciences du sol considéré comme bien connu. Comment ne s'est-on pas égaré dans la complexité des faits, avant de reconnaître explicitement une multitude d'interactions, c'est peut-être la première question épistémologique que l'on soulève spontanément. Nous essaierons d'y répondre par deux exemples.

Il est habituellement dit que la géologie s'est construite dans une large mesure par l'application des principes édictés par Ch. LYELL, et surtout par l'application du principe des « causes actuelles » ou « principe d'uniformitarisme » (*). Quelque soit sa dénomination, ce principe a été largement adopté jusqu'à l'époque contemporaine, et il est encore utilisé, sous certaines réserves ainsi que nous allons le voir. Il a fallu en effet admettre que les exceptions apportées au principe en question se sont faites de plus en plus nombreuses. L. CAYEUX (23) a consacré tout un livre, intitulé « Causes anciennes et causes actuelles en géologie », à l'analyse de ce problème. Voici quelques-unes de ses conclusions. « L'époque actuelle est caractérisée par le repos de toute une série d'activités qui ont joué un grand rôle dans la formation des sédiments au cours des temps géologiques ». L'auteur ajoute qu'il appellera « Causes anciennes, par opposition aux Causes actuelles », toute une « série de phénomènes de nos jours inconnus ». Il est donc permis de soutenir que la géologie s'est édifiée sur des bases contestables dans une large mesure. Et si l'on veut aller au bout de ce paradoxe, nous nous demanderons s'il eut été impossible à une géologie, différente de la nôtre mais peut-être tout aussi bonne, de se former à partir du postulat inverse, c'est-à-dire en admettant la différence radicale entre phénomènes actuels et passés. Dans un cas comme dans l'autre, la théorie de départ se serait trouvée partiellement déniée, au profit du compromis que l'on enseigne actuellement. Dans notre dernier chapitre, nous essaierons de traiter ce problème (qui est celui de l'ouverture d'un champ conceptuel nouveau suivant une clé plus ou moins adaptée) de façon plus générale et plus théorique.

Ce premier exemple nous a paru intéressant, parce que le problème qui nous occupe est pratiquement posé par CAYEUX lui-même, mais ses faiblesses sont évidentes. Il porte sur un sujet beaucoup trop vaste, mettant en cause une grande partie de la géologie. Il est possible aussi de soutenir que le principe d'uniformitarisme a eu moins d'importance qu'il n'y paraît, et que les méthodes d'analyse, les techniques descriptives, etc., ont joué un rôle plus grand que le sien dans le développement de la science des roches. Aussi chercherons-nous en deuxième exemple, un sujet plus restreint, dans la science du sol cette fois.

Il s'agit de l'étude des cuirasses du milieu ferrallitique. Rappelons que pendant longtemps leurs différents faciès (conglomératique, vacuolaire, lamellaire, etc.) ont paru ubiquistes. « La structure des cuirasses est extrêmement variable », notait R. MAIGNIEN *(op. cit.)*. Seules quelques formations particulières, les bauxites notamment, paraissaient pouvoir être situées dans les paysages. Pourtant on pouvait supposer que la nature des cuirasses soit liée d'une façon générale aux surfaces occupées. Celles-ci sont décrites comme surfaces aplanies ou comme glacis, et leur étagement dans l'espace et dans le temps (de l'éocène au quaternaire récent) est considéré comme assez bien connu. Le programme ainsi défini a été réalisé par B. BOULANGÉ et ses collaborateurs (**). Ces auteurs ont effectivement montré une bonne corres-

(*) P. ROUTHIER (82) a souligné le contresens commis en traduisant LYELL et qui est à l'origine de l'expression francaise « causes actuelles ». Le mot anglais « actual » signifie « réel » et non « actuel ». Il est plus juste donc de parler du « principe d'uniformitarisme » plutôt que du « principe des causes actuelles ». Mais le contresens est resté sans importance, du fait que les causes réelles que les géologues peuvent observer en action sont aussi des causes actuelles. L'uniformitarisme consiste à étendre au passé les causes réelles (et actuelles).

(**) BOULANGÉ (B.), DELVIGNE (J.), ESCHENBRENNER (V.) - 1973 - Descriptions morphoscopiques, géochimiques et minéralogiques des faciès cuirassés des principaux niveaux géomorphologiques de Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.* 5, 1, pp. 59-81.

pondance cuirasses-niveaux géomorphologiques. La liaison entre les bauxites et la surface éocène était déjà pratiquement établie. Ils y ont ajouté la reconnaissance d'une surface mio-pliocène dite « intermédiaire » portant une cuirasse ferrugineuse caractéristique, et de trois glacis quaternaires ayant chacun un type particulier de cuirassement. A peine établi, ce schéma se trouve rectifié, par les travaux de V. ESCHENBRENNER (*) notamment. Il apparaît en effet que la distribution des matériaux cuirassés sur les différentes surfaces se complique en raison de deux phénomènes principaux. Tout d'abord l'évolution des reliefs s'accompagne d'un remaniement des formations pédologiques. Des éléments cuirassés d'un premier niveau sont transportés vers de nouveaux sites de cuirassement. L'ordre d'apparition des différents faciès est donc déjà perturbé. Et surtout, l'évolution des surfaces anciennes ne s'est pas figée dans le passé, elle s'est poursuivie jusqu'à l'époque actuelle. Ces surfaces sont sans doute marquées par un type primitif de cuirassement. Mais elles portent aussi de nouvelles générations cuirassées, contemporaines et de même faciès que celles apparues sur des niveaux géomorphologiques plus récents. Ainsi sur la surface intermédiaire, en imbrication avec son faciès original de cuirassement, existe-t-il des cuirasses du même type que celui donné pour caractéristique du glacis quaternaire ancien. La répartition ordonnée des cuirasses, telle qu'elle est apparue au second stade des recherches, est donc fortement perturbée.

Schématisons plus encore les étapes de ce travail sur les cuirasses. Il a été considéré tout d'abord que les différents faciès cuirassés se répartissaient dans la nature de façon assez désordonnée. Ensuite au contraire, ils ont semblé directement liés aux unités paysagiques, chaque surface étant caractérisée par un cuirassement original. Mais la complexité est enfin réapparue. Les différentes générations de cuirasse ont été confirmées. Il a fallu reconnaître qu'elles se distribuent souvent sur plusieurs surfaces, une cuirasse donnée pouvant se former non seulement sur une surface qui lui est contemporaine, mais aussi sur les surfaces plus anciennes.

De même sans doute que bien des sciences de la nature, la science du sol procède souvent par une sorte de *décryptage progressif* à travers une réalité complexe. Dans notre dernier exemple, le problème des cuirasses a été débrouillé grâce au schéma caractérisant chaque surface par un faciès cuirassé. Mais on pourrait soutenir que ce schéma était méthodologiquement mauvais (**), puisqu'il procédait d'une simplification (peut-être involontaire), c'est-à-dire d'une élimination de certains faits. Que serait devenue l'analyse si tous les faciès cuirassés existants sur certains niveaux avaient été pris en compte depuis le début ? Dans cet effet de décryptage progressif *les bases de départ sont démenties* au moins partiellement *par les développements qu'elles engendrent*. On pourrait soutenir ce paradoxe : il importe assez peu que le premier canevas analytique soit plus ou moins proche de la réalité.

(*) ESCHENBRENNER (V.), à paraître.

(**) Il y aurait beaucoup à dire sur le droit de sélectionner certains faits dans une totalité complexe. Nous y reviendrons au dernier chapitre. Soulignons seulement que certaines opinions contradictoires dans l'interprétation de phénomènes pédologiques proviennent de ce que l'on n'interroge pas les mêmes faits élémentaires. Les cuirasses donnent à ce propos un exemple facile, déjà cité dans l'introduction de ce chapitre. Les publications suivantes opposent clairement, dès l'énoncé de leurs titres, les deux interprétations de l'origine des accumulations ferrugineuses : LAMOTTE (M.), ROUGERIE (G.), - 1962 - Les apports allochtones dans la genèse des cuirasses ferrugineuses. *Rev. Géom. dyn.*, 10-11-12, pp. 145-160.

LEPRUN (J.-C.), NAHON (D.) - 1973 - Cuirassements ferrugineux autochtones sur deux types de roches. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 15, 3-4, pp. 356-361.

Les circuits de dérivation

« La néoformation du quartz a été envisagée par J. B. HARRISON (1933) et N. LENEUF (1959) dans l'altération profonde de la roche-mère, mais elle ne rend pas compte des phénomènes observés » (*). Le lecteur non initié aura peut-être quelque inquiétude à voir d'un côté des auteurs faisant autorité admettre un processus qui, d'un autre côté, est démenti par les faits d'observation. En fait le problème du comportement du quartz dans la pédogenèse ferrallitique s'est posé pendant longtemps ainsi, en termes contradictoires. Certains ont admis des gains de quartz, d'autres ont cru à la stabilité approximative de ce minéral, d'autres enfin l'ont présenté comme éminemment soluble. Pour étayer ces propositions, il est possible d'avoir recours à des arguments d'origine très variée. La thermodynamique et les taux de saturation par rapport au quartz et à la silice amorphe sont souvent invoqués. Pour savoir théoriquement ce qui se passe, il suffit de confronter les taux de silice des solutions du sol aux courbes de solubilité. Mais ces arguments ne sont pas nécessairement reconnus comme décisifs. La méthodologie pédologique proprement dite offre ses propres moyens d'étudier le comportement du quartz. Il s'agit des observations micromorphologiques, et des bilans isovolume. Il est possible aussi de s'appuyer sur des données définies à l'échelle paysagique. Il s'agit alors surtout des formes karstiques apparaissant sur des formations géologiques sableuses ou gréseuses, et des dépôts siliceux (diatomites, etc.) supposés corrélatifs d'une mobilisation de silice dans des sols essentiellement quartzeux.

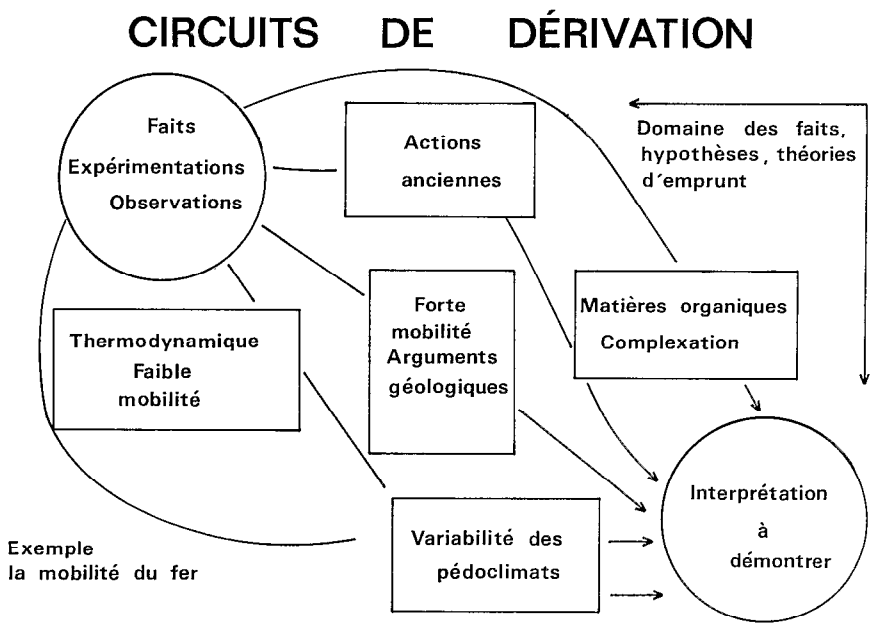
Ainsi, le pédologue qui rencontre un obstacle à sa démarche trouve-t-il souvent la possibilité d'emprunter *un circuit de dérivation*. Par cette formule imagée, nous voulons désigner une manière de *résoudre certaines difficultés*, uniquement *sur le plan de l'argumentation* (et non en établissant un nouveau protocole de travail), par recours à une « donnée » adéquate *choisie en regard du but poursuivi*. Cette donnée adéquate peut être un fait, une hypothèse, une théorie. Elle est souvent empruntée à un corpus de connaissances générales, donc à l'extérieur du travail en cours. Ces *argumentations détournées* nous semblent *si fréquentes* en science du sol que nous insisterons sur ce sujet, en le traitant par quelques exemples supplémentaires.

Avec le quartz, nous avons vu un premier cas impliquant un *vaste ensemble de connaissances*, ou si l'on préfère ce terme, une *théorie générale*. Malheureusement, une théorie générale rend compte de situations complexes et l'on peut souvent lui demander des éléments pour soutenir des interprétations opposées. Il est maintenant certain que le quartz n'a pas un comportement unique dans le milieu ferrallitique. Dans des circonstances bien particulières il est néoformé, alors que dans d'autres il sera complètement solubilisé. On peut toujours invoquer un cas ou l'autre lorsque, disposant de *données par elles-mêmes insuffisantes* pour régler la question, on prétend néanmoins proposer une certaine interprétation. Ce genre de problème se pose encore plus souvent avec le fer et l'aluminium. La théorie générale qui s'attache à eux est plus complexe que celle qui concerne le quartz. Il est actuellement permis d'affirmer que ces éléments peuvent rencontrer dans le milieu naturel des conditions qui assureront leur immobilisation ou au contraire leur déplacement. Par contre il est très rare que l'on puisse définir au cours d'une étude de pédologie générale quelles sont les conditions physico-chimiques réellement présentes. Prenons le cas de l'aluminium. S'il dispose de certains indices lui faisant supposer l'immobilisation de cet élément dans les matériaux à l'étude, le pédologue se réfèrera aux données thermodynamiques. Elles situent l'aluminium dans son domaine d'insolubilité aux conditions ordinaires de pH des sols. Le pédologue renforcera peut-être aussi sa conviction, et surtout celle de son lecteur, en citant un grand nombre de publications où l'aluminium est présenté comme élément stable. Mais il en trouvera tout autant pour soutenir la thèse inverse. S'il doit défendre la mobilité de l'aluminium, il invoquera les complexants organiques, l'influence du temps qui donne sa

(*) BOURGEAT (F.) - *op. cit.*

véritable ampleur à un processus très lent, etc. Tout cela fait partie de la théorie géochimique actuelle concernant l'élément aluminium. Mais si l'on n'a pas les moyens d'établir que des complexes organo-métalliques transitent effectivement dans les sols que l'on étudie (et comment le démontrerait-on ?), il devient peut-être abusif de chercher une caution auprès de la théorie par référence à un de ses aspects particuliers. Notre dernier exemple se rapporte à la synthèse de la kaolinite. Cette synthèse soulève encore beaucoup de questions, puisqu'elle paraît être aussi commune dans la nature qu'elle est difficile au laboratoire. Récemment, J. LINARES et F. HUERTAS (*) ont annoncé avoir réussi la synthèse expérimentale de la kaolinite. Selon ces auteurs, le succès de leur méthode provient de ce qu'ils utilisent des acides fulviques, qui complexent l'aluminium en le mettant en position hexacoordonnée. De son côté, G. SIEFFERMANN *(op. cit.)* attribue aux matières organiques et tout particulièrement aux acides fulviques

TABLEAU 9



un rôle diamétralement opposé. Loin de favoriser la synthèse de la kaolinite, les molécules organiques stabilisent selon lui l'alumine amorphe des allophanes. La formation d'argiles cristallines serait interdite dans les andosols en raison de l'abondance des matières organiques. Nous voyons donc des auteurs qui présentent chacun un syntagme complexe, comportant des données propres auxquelles un élément d'emprunt apporte une signification supplémentaire. Ils ont accompli un détour, pour extraire d'un corpus général de connaissances deux propositions : les acides humiques placent l'aluminium à la coordinence 6, ce qui est favorable à la synthèse de la kaolinite — les molécules organiques et spécialement les acides fulviques complexent l'aluminium, ce qui interdit la formation de phyllites cristallines.

(*) LINARES (J.), HUERTAS (F.) - 1971 - Kaolinite : synthesis at room temperature. *Science* (USA), 171, 3972, pp. 896-897.

Il est fréquent de rencontrer des argumentations destinées à *préserver une théorie admise*, ou tout au moins à rester en bon accord avec elle. Étudiant l'altération en milieu ferrallitique, F. LELONG *(op. cit.)* a retrouvé le problème de l'alternative entre formation de kaolinite et formation de gibbsite. Il est généralement reconnu, c'est devenu une théorie générale, que la genèse de la gibbsite est « liée aux pédoclimats suffisamment aérés », celle de la kaolinite étant « liée aux pédoclimats constamment humides ». Or, LELONG découvre à la base des profils, dans ce qu'il appelle les « termes rocheux E et F », une altération en gibbsite. C'est pourtant là, bien en-dessous du niveau des fluctuations phréatiques, que l'on s'attend à rencontrer les conditions maximales d'humidité. La théorie est-elle démentie, ou tout au moins amendée ? Et bien non. F. LELONG tourne en quelque sorte le problème. « Rien n'interdit », écrit-il, « de penser qu'il existe sous la lithomarge hydromorphe un niveau relativement bien aéré... Ainsi la gibbsite pourrait trouver à ce niveau le climat contrasté qui semble lui convenir ». L'exemple suivant montrera plus clairement comment l'on peut se sortir de certaines difficultés d'interprétation issues de la rencontre de faits inattendus, en cherchant *parmi les diverses propositions théoriques disponibles* celle qui va *rétablir l'argumentation* en cours dans un sens satisfaisant. Il s'agit encore d'un problème géochimique, apparu pendant le travail de G. BOCQUIER (13), et que G. TSAWLASSOU (*) a repris, en effectuant un certain nombre de déterminations minéralogiques. L'altération des biotites et des feldspaths est susceptible de libérer différents minéraux. Une séquence faisant apparaître de la kaolinite en haut de pente et de la montmorillonite en bas de pente sera considérée comme normale pour le milieu écologique considéré, c'est-à-dire conforme à la théorie géochimique générale. Il n'en est pas ainsi dans la séquence de Kossélili (Tchad) étudiée par BOCQUIER et TSAWLASSOU. Dans les biotites et les feldspaths altérés, sur toute la séquence, la kaolinite est dominante par rapport à la montmorillonite. Pour le haut de pente, cela paraît normal : si les sols sont fonctionnels, c'est la kaolinite qui doit s'y former. Mais pour le bas de pente ? Voici comment TSAWLASSOU se sort de cette difficulté. S'il y a de la kaolinite dans le bas de pente, c'est que la kaolinisation des biotites et des feldspaths s'est produite, à cet endroit-là, au cours d'une phase pédogénétique ancienne « qui fut de même nature que celle qui affecte actuellement les profils de l'amont ». Dans ces problèmes de différenciations géochimiques, les pédologues sont rarement pris de court. C'est qu'une anomalie peut être due à bien des phénomènes. Pour l'expliquer, on peut avoir recours à des actions anciennes comme dans le cas précédent, ou à un pédoclimat particulier d'autant plus facile à invoquer qu'il n'est pas vérifié par des mesures en place, ou à des transits d'ions également incontrôlables directement, ou à une influence du climat, de la roche, etc. Il existe donc bien des voies qui permettent *le retour de l'argumentation vers la conformité avec la théorie générale.*

Nous considérerons maintenant un cas d'*argumentation interne* dans laquelle il n'y a pas de greffe d'une proposition théorique appliquée à titre d'hypothèse, comme l'avait fait TSAWLASSOU. Le travail de G. BOCQUIER (13) dans lequel nous allons prendre notre exemple n'est pas facile à utiliser dans une enquête épistémologique rapide comme celle que nous poursuivons actuellement. Il est en effet fortement structuré, et il peut être abusif d'en isoler un élément. Nous aurons l'occasion de revenir dans notre dernier chapitre sur ce travail, pour montrer son approche des systèmes pédologiques pris comme des totalités. Pour l'instant, nous considèrerons quelques énoncés se rapportant à des figures pédologiques caractéristiques et à leur distribution spatiale.

Voyons tout d'abord un cas où l'auteur prétend s'abstenir de prendre un élément ubiquiste comme critère significatif. C'est ce qu'il exprime, à propos des revêtements argileux,

(*) TSAWLASSOU (G.) - 1971 - Géochimie de l'altération des roches granitiques et gneissiques en pays tropical et équatorial. Évolution des biotites et des feldspaths. Thèse 3e Cycle, Fac. Sci. Strasbourg, 68, p. *multigr.*

dans les termes suivants. « ... les revêtements — même s'ils sont localisés de préférence dans la partie centrale du profil — sont en fait présents dans les trois types d'horizons et de matériaux ; ils ne peuvent donc être utilisés comme critères exclusifs d'accumulation pour délimiter ou définir des horizons B, par rapport aux horizons A et C ».

Mais il n'est pas obligatoire de suspendre la signification d'un élément donné pour la raison qu'il se retrouve à peu près partout. Nous allons voir au contraire l'auteur construire une argumentation, qui se situe au cœur même de sa thèse, à propos des distributions groupées du squelette sableux qui vont apparaître présentes elles aussi dans la plupart des matériaux. Ces distributions groupées en stries, lamelles, traits laminaires, avec coiffes apicales d'éléments fins recouvrant les assemblages de grains grossiers ou de nodules, sont données pour significatives des matériaux éluviés A_2. Mais en fait dans beaucoup de sols elles apparaissent non seulement dans les horizons A_2 mais aussi dans les horizons B. Y aurait-il là motif à réviser la signification de ces distributions groupées, trop largement réparties pour justifier une interprétation spécifique ? Bien au contraire, c'est là que va se nouer l'argumentation de l'auteur. « La présence d'une distribution groupée du squelette dans des horizons B à plasma continu et abondant ne peut donc s'expliquer que par la persistance de ce caractère d'horizon A_2 dans un horizon B formé postérieurement ». BOCQUIER soutient donc que les horizons B, avant de recevoir des argiles illuviées, sont passés par l'état d'horizon A_2. Et dans le cas où un horizon B ne montrerait pas cette distribution groupée du squelette, faudrait-il conclure qu'il a échappé à cette règle ? Pas nécessairement, car les distributions groupées peuvent avoir disparu. « Cependant dans l'horizon B polyédrique de 145 à 245 cm, la distribution n'est plus systématiquement groupée comme dans l'ensemble du profil... Il apparaît possible qu'un début de dynamiane de cet horizon B argileux ait effacé en partie cette distribution groupée... », « ... les constituants plasmiques importés pourraient à leur tour, par leur dynamique, modifier sinon effacer cet arrangement antérieur du squelette ». La disparition des figures en question peut tout de même laisser planer quelque doute, et l'auteur note, à propos de solonetz solodisés que « du fait de l'absence de caractères reliques dans les horizons B supérieurs, il n'existe pas de preuves directes dans ce cas, du développement des B aux dépens d'horizons A_2 ».

La base des raisonnements de G. BOCQUIER est en réalité le degré de confiance très élevé qu'il accorde à la signification intrinsèque des figures micromorphologiques considérées. Dans le premier cas cité, il considère que les revêtements sont d'incontestables figures d'illuviation, et la discussion ne porte que sur un problème annexe, celui de la définition des horizons A, B, C. S'il existe des revêtements dans un A_2, l'auteur pensera qu'il y a bien eu apport d'argiles illuviées, en quantité faible sans doute, et que cela est insuffisant en regard des autres critères pour changer la définition de l'horizon. Dans le deuxième cas, il ne s'agit plus de définition. La confiance donnée à la signification intrinsèque des motifs de groupement du squelette est encore plus apparente, puisque les distributions spatiales pourraient être invoquées pour la démentir. On ne tire pas argument du caractère presque ubiquiste des figures pour contester leur dépendance par rapport à un processus bien particulier. Leur absence assez rare il est vrai n'est pas à l'inverse retenue comme significative : les figures peuvent avoir disparu. Ainsi voit-on l'auteur tracer son chemin à travers une série d'alternatives, empruntant les dérivations qui vont l'amener, non pas à une évidence, mais à une véritable « thèse », c'est-à-dire à une thèse interprétative.

Il est clair que les travaux cités, ceux de BOURGEAT, SIEFFERMANN, LELONG, TSAWLASSOU, BOCQUIER, se situent dans une option fondamentalement réaliste. Ils sont des expressions typiques de cette pensée génétique dont nous essayons de suivre les entreprises au sein de la science du sol. Dans cette perspective, *la reconnaissance de la complexité de la nature est essentielle.* Interactions et prépondérances des facteurs les uns par rapport aux autres sont source d'*une*

extrême diversification. Si la nature est parvenue à brouiller ses cartes, il faut beaucoup d'agilité dans la démarche qui prétend retracer les genèses. A nature complexe, esprit inventif. Aussi lorsque nous essayons de mettre à jour ces dérivations, qui pourraient être prises pour des échappatoires destinées à préserver une loi établie ou pour un jeu consistant à construire une thèse séduisante, *ce n'est pas pour leur enlever leur justification profonde*. Nous nous contentons d'essayer de montrer *la structure des argumentations*.

L'effet de système Nous avons vu que les « faits » sont rarement des données premières, que les véritables points de départ sont difficiles à positionner, que les argumentations font appel à des acquis préalables et s'infléchissent souvent dans le sens d'une théorie générale à respecter. A ce point de notre démarche, il devient facile d'admettre que la plupart des opérations individuelles de recherche se déroulent *à l'intérieur de systèmes conceptuels*, en ayant rarement *la possibilité de transgresser leurs limites*. A plusieurs reprises, dans nos exemples précédents, nous avons rencontré les théories de la géochimie de surface. Elles constituent certainement l'un des systèmes les plus cohérents mais aussi les plus complexes que l'on puisse identifier dans la science des sols. Il nous sera plus facile de proposer, en exemple, l'analyse rapide d'un système un peu plus simple. Ce sera celui qui prétend reconstituer, pour l'Afrique tropicale occidentale et centrale, la succession des épisodes paléopédogénétiques. Que ce soit au Sénégal, en Côte d'Ivoire, au Cameroun, en République Centrafricaine, de nombreux auteurs acceptent un même schéma général. Rappelons sommairement ses principaux termes. Il reconnaît pour le Quaternaire trois cycles pluviaux - inter-pluviaux responsables de la formation d'autant de glacis cuirassés. Ces cycles sont chronologiquement situés dans le million d'années qu'a duré le Quaternaire. Plus loin encore dans le passé, deux grands épisodes climatiques et pédogénétiques sont attribués à l'éocène et au miocène. Les jalons géomorphologiques (surfaces ou glacis) et pédologiques (sols et cuirasses) laissés par ces différents épisodes ne fournissent pas par eux-mêmes les éléments nécessaires à une reconstitution historique. Tout au plus pourrait-on les situer relativement les uns par rapport aux autres. Mais sans données externes, il serait impossible de leur donner un âge. C'est principalement à P. MICHEL (*) que l'on doit d'avoir collationné toutes les données externes nécessaires, et d'avoir établi cette chronologie généralement adoptée en Afrique de l'Ouest. Pour cela, il a dû reprendre l'examen de toute la sédimentation, continentale et marine, corrélative des phénomènes affectant les terres exondées, altération, érosion, genèse des sols, développements biologiques. Un sédiment détritique grossier est corrélatif d'un climat continental érosif, à saisons contrastées. Un sédiment chimique indique une période de biostasie, à climat chaud et humide. Les pollens des sédiments confirment la présence de peuplements végétaux en relation avec les différents climats. Ces principes de travail ainsi résumés peuvent paraître simples, mais la complexité et les difficultés ne tardent pas à se manifester lorsqu'il faut entrer dans le détail de tout ce que des périodes géologiques entières, Quaternaire, Tertiaire, ont laissé comme dépôts sédimentaires. Laissant de côté les données principales qui sont celles des sédiments corrélatifs, de leur faune et de leurs pollens, il reste encore à considérer dans le travail de P. MICHEL un grand nombre d'indices. Au hasard d'un parcours rapide de son ouvrage, nous trouverons par exemple mention de matériaux latéritiques recouverts de sédiments datés, d'anciens sols masqués par une coulée basaltique également datée, de dépôts sédimentaires rubéfiés, de failles affectant des sills doléritiques récents, etc. Au terme de cette longue analyse, c'est bien *un système*, c'est-à-dire *un ensemble de propositions constituant un tout*, qui a été édifié. Lorsqu'un pédologue situe actuellement ses observations sur un glacis quaternaire ancien, ou sur tout autre ensemble géomorphologique daté, il entre dans un réseau de données à ramifications très lointaines.

(*) MICHEL (P.) - 1970 - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Étude géomorphologique. Thèse, Fac. Lettres, Strasbourg, 1168 p., *multigr.*

Antérieurement d'ailleurs à celui de P. MICHEL, un travail analogue a été réalisé en Afrique australe et centrale. Nous avons déjà eu l'occasion (Y. CHATELIN, *op. cit.*) d'analyser l'insertion de ses conclusions dans la science du sol développée en certains pays, et notamment au Zaïre (Congo Belge de l'époque). Le système conceptuel édifié dans ce dernier cas associait des reconstitutions paléoclimatiques et paléogéochimiques, une interprétation allochtoniste généralisée de la mise en place des formations de surface, une conception limitative (par rapport à celle des pédologues français) du sol opposant pédogenèse et régogenèse, et bien entendu une certaine classification des sols. Ce système paléorégogenèse - remaniements - notion sol - classification apparaît particulièrement bien structuré et cohérent. A lire les publications des pédologues de l'INEAC, il ne semble pas qu'ils aient beaucoup songé à le commenter et encore moins à le réviser ou le perfectionner, leur travail se portant plus volontiers vers d'autres sujets, minéralogie, typologie des sols, etc.

C'est qu'en effet il devient délicat de prétendre modifier un élément lorsqu'il appartient à un système unissant des données inter-dépendantes. Imaginons le cas d'un pédologue étudiant en Afrique de l'Ouest les sols d'un certain glacis, et dont les observations paraîtraient en désaccord avec les notions générales admises pour la pédogenèse du quaternaire ancien. Ses données personnelles sont évidemment limitées. Il ne peut entreprendre de réviser une théorie générale, même sur un seul point particulier, sans songer à tout ce qui s'y trouve impliqué. Ces implications ne recouvrent pas seulement les dépôts corrélatifs des bassins sédimentaires de l'Ouest africain. Elles s'étendent jusqu'aux indices beaucoup plus lointains ayant servi, à l'échelle mondiale, à retracer les oscillations climatiques. Toute la théorie des pluviaux et inter-pluviaux africains, et de leur correspondance avec les glaciaires et interglaciaires des régions actuellement tempérées, est engagée dans n'importe quelle étude des cuirasses de glacis africains. A son échelle habituelle de travail, le spécialiste des sols n'a pas les moyens de traiter entièrement ces problèmes.

Au cours du développement de la science du sol, beaucoup de notions parviennent à être périmées. Si *la réfutation est rare*, lorsque les connaissances provisoires sont ordonnées en systèmes complexes et cohérents, par contre *l'abandon est fréquent*. Il est difficile de démontrer le caractère erroné d'un ensemble conceptuel ramifié, il est plus simple de lui substituer de nouvelles notions mieux adaptées. Nous avons retracé par ailleurs (25) l'histoire d'une théorie qui a voulu longtemps rendre compte des accumulations latéritiques cuirassées, en faisant appel à des mouvements per-ascensum. La littérature de l'époque est restée étonnamment discrète sur les raisons qui ont fait rejeter la théorie en question. Tout au plus avons-nous relevé quelques propos sur la lenteur des remontées capillaires et leurs faibles capacités de transport. La théorie des mouvements per-ascensum n'avait pas seulement un contenu de physique des sols, qu'il aurait fallu réfuter par des expérimentations ou des calculs théoriques. Elle rendait surtout compte (à sa manière) de multiples faits de terrain, elle constituait en réalité un système explicatif. Tout cela a été très simplement abandonné, au profit de conceptions différentes, mieux justifiées et plus efficaces. Plus récemment nous avons vu le déclin des schémas verticalistes de la différenciation des sols. On peut soutenir qu'il y avait là aussi constitution d'un système très complexe, puisqu'il invoquait toute la genèse des sols. Les différents schémas verticalistes n'ont pas été réfutés les uns après les autres. Mais les déplacements latéraux de substance, les différenciations latérales des organisations pédologiques ont été reconnues de plus en plus fréquemment après les travaux (dans le milieu tropical) de G. MILNE, J. D'HOORE, R. MAIGNIEN, G. BOCQUIER. Les problèmes explicitement débattus, comme dans le cas du conflit des théories autochtoniste et allochtoniste, sont sans doute plus rares que ces abandons.

Les raisonnements circulaires

Des démarches nombreuses ont un *caractère tautologique* (*) qui passe habituellement inaperçu, de leurs auteurs en premier lieu. Les conclusions y rejoignent les postulats de départ, dans un dialogue établi entre une théorie ou une hypothèse préalable, et les faits prétenduement nouveaux (mais en réalité déjà inclus dans les prémisses de l'hypothèse ou de la théorie) que l'on interroge pour leur demander confirmation. Nous avons déjà évoqué ce type de problème. Dans d'autres raisonnements, c'est un procédé relevant de la *métonymie* (**) qui apparaît clairement. Nous avons mentionné ailleurs la « *démarche à rebours* » qui consiste à conclure à certains pédoclimats (qui sont ici la cause présumée) lorsqu'apparaissent des minéraux argileux donnés (qui sont ici l'effet). De nombreux observateurs, en pays ferrallitiques, postulent un pédoclimat humide lorsqu'ils rencontrent de la kaolinite, et un pédoclimat plus sec lorsque c'est la gibbsite qui apparaît. Parmi la multitude de relations pédoclimats - minéraux argileux, la plupart sont simplement conjecturées, l'observation réelle du climat du sol étant très rarement faite. Ainsi se perd toute possibilité de confirmer véritablement (ou d'infirmer) la théorie générale sur la genèse des minéraux argileux.

Pour les plus mauvais cas enfin, c'est un véritable *raisonnement circulaire* qui s'établit. Causes et effets, ou prémisses et conclusions, jouent alternativement le même rôle. Nous laisserons à T. R. PATON et M. A. J. WILLIAMS (***) le soin d'en donner un exemple. « The correlation of erosion surfaces capped by various forms of laterite often involve the unproved assumption that the laterite is about the same age as the surface it overlies, and can lead to circular reasoning whereby a surface is identified on the basis of laterite morphology, and the laterite is dated by reference to the surface on which it occurs ».

Dans *le mode d'expression lui-même*, les tautologies sont sans doute plus fréquentes. Elles peuvent être favorisées par l'habitude de rechercher des schémas explicatifs ; déjà Molière se moquait des médecins qui expliquent la capacité de l'opium d'endormir ceux qui le consomment, par ses « vertus dormitives ». La littérature pédologique aurait bien des propos comparables à proposer. « Different constituents will move through the system at different rates *because* each constituent has a characteristic relative mobility » (53). Sans doute l'auteur a-t-il éludé une plus longue explication, et la confusion n'est-elle qu'apparente. Mais le texte lui-même ne montre pas en quoi la mobilité relative est distincte d'une migration différentielle dans le système étudié.

(*) FOULQUIÉ (P.) - 1969 - Dictionnaire de la langue philosophique. P.U.F. « Tautologie. Proposition donnée comme explication ou comme preuve, mais qui, en réalité, ne fait que répéter en termes identiques ou équivalents ce qui a été dit ».

BARTHES (R.) - 1957 - Mythologies. Le Seuil. « La tautologie. Oui, je sais, le mot n'est pas beau. Mais la chose est fort laide aussi. La tautologie est ce procédé verbal qui consiste à définir le même par le même... ».

(**) « Métonymie. Figure par laquelle on prend la cause pour l'effet, l'effet pour la cause, le contenant pour le contenu, le signe pour la chose signifiée, etc. ». Littré.

(***) PATON (T. R.), WILLIAMS (M. A. J.) - 1972 - The concept of laterite. *Ann. Ass. Amer. Geogr.* 62, 1, pp. 42-56.

Chapitre cinq

LE LANGAGE - EXAMEN DU LEXIQUE

La science qui nous occupe se dénomme elle-même « pédologie », ce qui signifie qu'elle est un « logos », un « discours », dont les sols sont l'objet. Cette évidence étant admise, il n'est pas permis de s'abstenir d'un examen du langage, lieu principal de déploiement de la science du sol, où celle-ci doit justifier et enseigner son savoir. Nous aborderons dans ce chapitre les aspects les plus concrets du langage pédologique, en considérant son lexique, c'est-à-dire la collection terminologique utilisée.

Certains philologues ou linguistes se sont déjà intéressés au langage scientifique général, ou à celui de certaines disciplines particulières. Cela a été parfois (38) pour déplorer le « jargon » des hommes de science. C'est surtout le vocabulaire qui est considéré dans de telles études, les problèmes syntaxiques n'étant malgré tout guère spécifiques du parler scientifique. R. ETIEMBLE (38) a cité une étude faite sur le vocabulaire de la physique française, et dans laquelle une grande importance est accordée aux genres grammaticaux et à leur fréquence dans les textes. A vrai dire, une enquête analogue faisant apparaître dans nos écrits la distribution des verbes, substantifs, ou adverbes, ne saurait nous intéresser beaucoup. Il nous importera davantage de juger le vocabulaire par référence à ce que ses utilisateurs pédologues ont à exprimer. Poser le problème de l'*adaptation* d'un lexique à un domaine particulier, c'est évidemment poser le problème de sa *spécialisation*. C'est en ce sens que nous tenterons d'*étudier le lexique pédologique*.

Il n'y a de disciplines scientifiques originales que dans la mesure où sont formés des concepts particuliers et où il existe des moyens de les exprimer. La distinction faite par les linguistes entre le « signifiant » (le mot) et le « signifié » (le concept) s'imposera dans la suite de nos propos. Nous aurons sans cesse à distinguer, au niveau du signifiant comme à celui du signifié, ce qui est spécifique de ce qui est ubiquiste. Un mot savant peut exprimer une idée banale. A l'inverse, un mot courant peut prendre dans certaines conditions une signification très spécialisée. Les mots ne sont pas seuls porteurs de sens. Une habitude déjà ancienne de la science du sol consiste à utiliser des sigles ou symboles divers, qui devront être considérés eux aussi. Nous aurons également à nous préoccuper d'un moyen d'expression privilégié, celui que représente la classification pédologique. Tout ceci, s'il fallait tendre à l'exhaustivité, conduirait à un travail démesuré. A la limite, il faut considérer qu'un langage n'est défini que par la totalité de ce qui a été dit ou écrit, ce qui le rend pratiquement inaccessible dans son intégralité. Nous effectuerons quelques sondages très limités, en relevant les signes porteurs de sens mais sans noter leur fréquence dans les textes analysés. Dans l'étude des écrits littéraires ou scientifiques la fréquence des mots est souvent prise comme donnée très significative. Nous nous dispenserons pourtant de faire le long travail du relevé des fréquences, après avoir remarqué

que les termes les plus importants ne sont pas obligatoirement les plus usités. Un texte scientifique cherche généralement à prouver une idée, qui n'apparaît que dans la conclusion d'un long exposé. Le mot-clé peut alors être le dernier apparu. Dans un relevé des fréquences, il sera noyé dans la multitude des mots descriptifs maintes fois répétés. Une dernière remarque enfin, pour bien limiter la portée sémantique de notre enquête. *La science n'est pas toute entière présente dans le texte.* Dans une mesure plus ou moins grande suivant la nature de l'information traitée, celui-ci n'est qu'un commentaire, qu'une manifestation de surface. Le *contenu sémantique fondamental* peut relever des instruments de laboratoire, il est alors présenté par des graphes ou par des chiffres, et il échappe à une analyse qui se tient uniquement au niveau du langage.

Comment les spécialistes des sols considèrent-ils les problèmes terminologiques ? La Société Internationale de la Science du Sol a constitué voici plusieurs années (*) un groupe de travail pour la désignation et la normalisation des notations A, B, C et de leurs symboles complémentaires. Cet objectif est évidemment très limité. Nous retrouverons plus loin un dictionnaire multilingue, patronné par la F.A.O. Il ne présente qu'une collection terminologique très réduite, et il est donc loin d'épuiser les problèmes de communication qui se posent entre pédologues de langues différentes. A l'échelon international les activités organisées paraissent très limitées. La situation est plus nuancée au niveau des différentes écoles scientifiques, surtout si l'on tient compte des initiatives individuelles. L'U.S.D.A. par exemple (**) a réalisé un énorme travail de néologie et de normalisation des termes existants, à l'occasion d'un changement complet de son système de classification. Ce cas semble être resté unique, et c'est une situation complètement différente que présente l'école française de pédologie. Ici, le principal travail collectif réalisé est celui qui a donné le « Glossaire » (43) destiné à la description élémentaire des sols. Il en sera question plus loin, de même que de certaines entreprises individuelles comme celle à laquelle on doit le « Dictionnaire des sols » (78). En 1972 s'est constitué un groupe de travail informel sur le thème « Langage et terminologie pédologique ». Il se proposait non de collecter et de normaliser certains termes, mais d'approfondir, à travers le langage, les principaux concepts et la problématique générale de la science du sol. Plusieurs documents de travail ont été élaborés sans être diffusés largement, et les activités du groupe se sont apparemment arrêtées. Aussi surprenant que cela puisse être à l'époque actuelle (***), les pédologues français ne sont guère préoccupés par leurs moyens d'expression.

L'ANALYSE LEXICALE PROPOSÉE

La démarche à suivre pour analyser le corps lexical d'une science particulière semble au premier abord devoir être assez simple. Il suffira sans doute de relever les « mots » employés dans les textes pris comme matériaux de départ, de classer ces mots, et éventuellement (ce que nous ne ferons pas), d'établir leurs fréquences. En fait, la procédure se trouve devant plusieurs options possible et devra donc être définie suivant le but poursuivi. Nous voulons apprécier

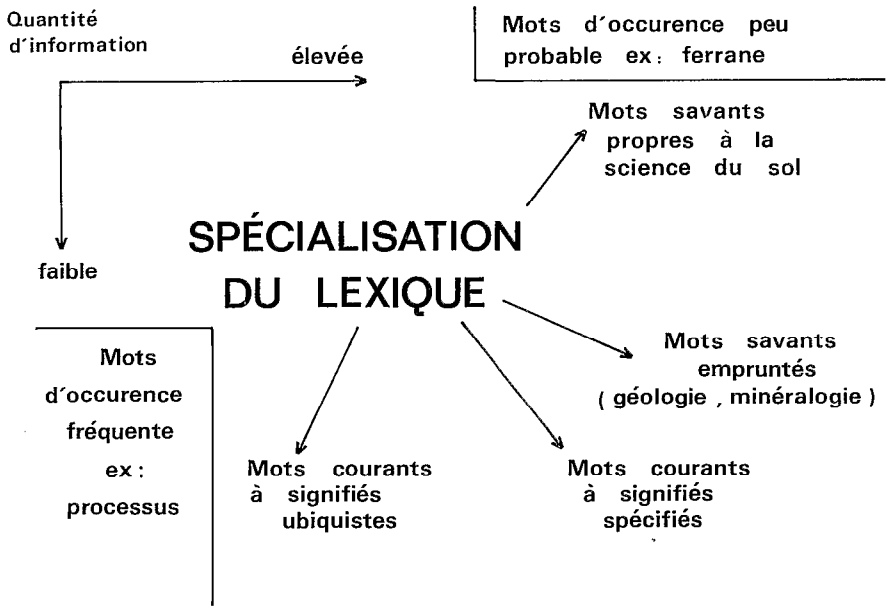
(*) Voir *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, 1968, 32, 1, pp. 131-132 et *Soviet Soil Science*, 1968, 7, pp. 988-992.

(**) Glossary of soil science terms. *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, 1965, 29, 3, pp. 330-351.

(***) Il existe un « Conseil International de la Langue française », qui publie une revue « La Banque des Mots ». Celle-ci rend notamment compte des travaux des « Commissions ministérielles de terminologie » créés en 1970 pour les ministères de l'État français ayant vocation scientifique et technique, de ceux du « Comité d'étude des termes techniques français », de ceux des « Archives du français contemporain » (CNRS), de ceux du « Bureau de terminologie » des communautés européennes, et de ceux d'autres organismes encore institués dans divers pays de langue française. Quant à eux, les pédologues français semblent rester à l'écart de ces travaux suscités par l'explosion actuelle des langages scientifiques et techniques.

le *degré de spécialisation du lexique*, et par là son adaptation à une entreprise particulière de la connaissance. Les termes les plus spécialisés sont ceux qu'il importe de retenir en premier lieu. Il apparaît immédiatement qu'il en est de deux sortes.

TABLEAU 10



Il y a tout d'abord les « *mots savants* », qui n'appartiennent qu'à la science, pour lesquels signifiant et signifié sont spécifiques l'un et l'autre. Il existe aussi beaucoup de *mots du langage courant* qui sont utilisés avec *une signification scientifique bien définie*, aussi spécialisée parfois que celle des précédents. Les mots savants et les mots communs n'ont pas le même comportement dans une langue qui évolue de façon spontanée. Ils n'ont pas non plus la même valeur, en tant qu'élément participant au processus de la connaissance scientifique. Ces problèmes réapparaîtront plus loin. Notons ici que parmi les hommes de science comme parmi ceux dont le rôle est de défendre la langue française, beaucoup souhaitent des terminologies utilisant de préférence les mots courants. Le langage des mathématiciens français est souvent donné comme l'exemple à suivre en ce domaine. Non seulement il n'utilise que peu de mots savants, mais il se préserve aussi de l'envahissement par les termes étrangers, et par les anglicismes notamment. Ceci appelle deux remarques. Il faut tout d'abord considérer que les mathématiques ont un système de symbolisation propre, et que le langage (au sens habituel du mot) y voit son rôle limité d'autant. Ensuite, il est généralement admis que les sciences les plus abstraites peuvent se satisfaire d'un vocabulaire peu spécialisé, alors que les sciences de la nature les plus concrètes (entomologie par exemple) se chargent toujours de termes très spécifiques. A cet égard, on devrait s'attendre à trouver la science du sol dans une position intermédiaire.

Nous distinguerons donc *deux populations linguistiques*, celle des mots savants, celle des mots courants. Placer un terme dans l'une ou l'autre est souvent facile. On n'hésitera pas par exemple à mettre « vermiculite » dans la première, et « sable » dans la seconde. Mais la différenciation n'est pas toujours aussi évidente. Que faire par exemple du mot « amorphe », vocable savant inventé autrefois par le minéralogiste R. HAÜY, mais dont se sert aussi la langue

commune ? Beaucoup de mots ont été ainsi créés dans une acception scientifique plus ou moins stricte, puis se sont trouvés contaminés par un usage dans la langue courante qui a pu durer parfois plusieurs siècles. Devrons-nous encore considérer comme des mots savants « argile » et « arène » qui remontent au XII^e siècle, « texture » qui date du XV^e, « basalte », « fossile », « efflorescence » que l'on doit au XVI^e siècle, « lamellaire », « nodulaire », « tubulaire » qu'inventèrent les naturalistes de la fin du XVIII^e ou du début du XIX^e siècle ? Où placer certains termes géométriques, « convexe », « concave », « polyédrique », « prismatique », etc. ? Les mots étrangers, et ceux de langue anglaise notamment, apportent aussi quelques difficultés. Par exemple « pan » qui est un mot passe-partout de la langue anglaise peut aussi être considéré comme un mot savant des pédologues américains qui s'en servent pour désigner certaines formations indurées. Le « Dictionnaire des sols » le retient comme « mot anglais et pédologique ». Si nous acceptons « pan » parmi les mots savants que peuvent utiliser les pédologues de langue française, que faire de « hardpan » qui a une consonnance trop typiquement anglaise ? Des difficultés apparaissent aussi avec les mots dérivés ou composés. Il semblera normal de retenir « pédode » parmi les vocables savants originaux, mais faudra-t-il comptabiliser dans la même catégorie « pararendzine », « transéluvial » ou pire encore « subhorizontal » en les considérant comme parfaitement distincts des mots « rendzine », « éluvial », « horizontal » ?

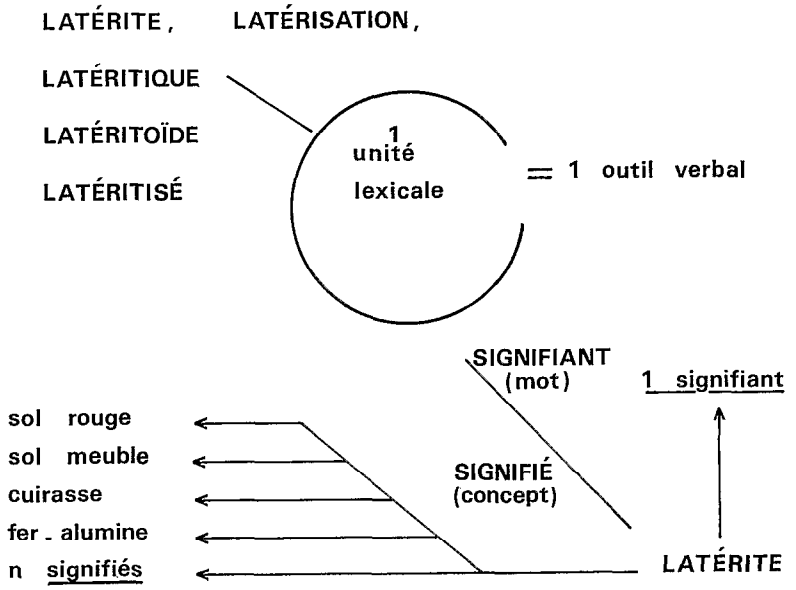
Certains termes ont une *signification double*, ou même *multiple*. Banal entre tous dans la littérature pédologique, le mot « argile » a deux sens, l'un étant d'ordre minéralogique, et l'autre d'ordre granulométrique. Devrons-nous le faire apparaître une fois, ou deux, dans nos relevés ? Associés en *mots composés* ou en locutions plus longues, certains termes se prêtent à de nombreuses utilisations. Avec les mots « sable », « argile », « limon », les pédologues construisent de multiples dérivés tels que « argilo-sableux », « limono-argilo-sableux », « sablo-peu argileux », etc. Autre exemple, le « Dictionnaire des sols », établit 17 rubriques pour le mot « pouvoir » (*). Il faut mentionner également l'aptitude d'un grand nombre de mots à donner des *dérivés* (différents genres grammaticaux, substantif, adjectif, verbe, etc., construits sur une même base). Ainsi le mot « structure » donne-t-il directement, sans altération du sens, « structurer », « structural », « structuration ». De la même manière, le mot « fer » donne « ferruginiser », « ferrugineux », « ferruginisation », mais il introduit des modifications sémantiques avec « ferrite », « ferritique » et plus encore avec « ferreux » et « ferrique ». Les affixes « ferro- », « ferri- », « -ferreux » entrent dans de nombreux ensembles composés. Comment comptabiliser tout cela ? L'analyse du lexique pédologique risque de s'égarer entre toutes ces difficultés. Elle devra pourtant se garder de se transformer en une étude des genres grammaticaux et des procédés de dérivation et d'affixation, comme elle devra éviter de se transformer en une étude sémantique considérant plus les concepts que les mots.

Des décisions devront donc être prises, pour classer mots savants et communs, pour accepter ou refuser les dérivés, etc. L'enjeu de ces choix est très important. Suivant les tolérances qui seront faites, les mots spécialisés obtenus seront en nombre élevé ou réduit. Le lexique paraîtra alors très, ou peu spécialisé, il sera considéré bien, ou mal adapté à une science reconnue indépendante (**). La position adoptée ici est de faire un *tri rigoureux*, éliminant tout ce qui est douteux. Il faut maintenant considérer les mots comme des outils, et non analyser des nuances conceptuelles. Dans le cas d'un mot ayant deux sens, il ne faut pas recenser deux

(*) Ces 17 rubriques sont « pouvoir absorbant », « pouvoir adsorbant », « pouvoir agglutinant des colloïdes », « pouvoir cellulolytique », « pouvoir chlorosant », « pouvoir d'échange », « pouvoir émissif », « pouvoir émulsionnant », « pouvoir fixateur », « pouvoir floculant », « pouvoir liant », « pouvoir de rétention (eau) », « pouvoir de rétention (air) », « pouvoir sélectif des colloïdes », « pouvoir de sorption », « pouvoir stabilisant », « pouvoir tampon ».

(**) La pédologie n'a-t-elle pas à étudier des objets bien définis que les autres sciences ne lui disputent pas ? Elle a été maintes fois proclamée science indépendante, par DOKUCHAEV et ses continuateurs.

TABLEAU 11



concepts, mais comptabiliser un unique *outil verbal.* Ambigu pour les linguistes eux-mêmes, qui ne l'emploient guère, le terme « mot » est mal adapté à notre enquête. Il ne sera utilisé que pour éviter parfois de trop lassantes répétitions, l'élément de base de notre travail étant présenté comme « *l'unité lexicale* ». C'est ainsi que nous désignerons l'ensemble formé par un élément linguistique fondamental et par ses différents dérivés. Ainsi « latérite » et ses nombreux dérivés « latéritique », « latérisation », etc., constitueront pour nous une seule unité lexicale.

RECHERCHE DU VOCABULAIRE DE BASE

Le Dictionnaire des Sols de G. Plaisance et A. Cailleux

A l'heure actuelle encore, G. PLAISANCE et A. CAILLEUX (78) sont les seuls à avoir tenté de dépouiller le lexique pédologique français. Leur travail nous donnera des éléments de départ du plus grand intérêt, même si l'on peut considérer que le « thésaurus » pédologique constitué par eux en 1958 est incomplet ou vieilli. Il convient de noter aussi que le vocabulaire présenté se rapporte aux sols d'une façon très générale, mais qu'il n'est pas uniquement celui de la « science » des sols, c'est-à-dire qu'il n'est pas seulement celui de la pédologie. Beaucoup de termes recensés appartiennent à des parlers dialectaux, à des langues étrangères (breton, arabe, anglais, langues africaines, etc.), voire à l'ancien français et à des langues mortes. Il s'agit donc d'un dictionnaire littéraire et scientifique, mais dans lequel les rubriques scientifiques sont traitées plus longuement que celles d'intérêt linguistique.

L'ouvrage de PLAISANCE et CAILLEUX comprend environ 10 000 *rubriques*, qui recouvrent près de 600 pages. Cela représente une masse d'information dépassant de loin ce que nous pouvons analyser dans le cadre de notre exposé. Aussi procèderons-nous par sondage. Le Dictionnaire étant présenté par ordre alphabétique, la sélection se fera par lettres. Trois

lettres, A, L et P, seront retenues. A elles seules, elles réunissent 2 100 rubriques, constituant donc environ *le cinquième de l'ouvrage*. Parmi leurs rubriques, nous en avons retenu 514 qui paraissent utilisables dans un texte de science du sol. C'est donc seulement *le quart du corps lexical* qui est susceptible de *relever du langage pédologique*. Une nouvelle sélection a ensuite éliminé les lettres-symboles (par exemple A, Ap, ABC, etc.) que l'on considérera à part plus loin, et tous les termes pouvant être utilisés par des pédologues mais qui ne sont pas de langue française (par exemple « peat », « peat-bog », « pechboden », « pecherde », etc.). Enfin, les différents dérivés d'une même base linguistique ont été groupés. En définitive, ce sont près de 300 *unités lexicales* (*) qui ont été obtenues. C'est cette population linguistique qui sera maintenant étudiée.

1° Un premier groupe est constitué par des *unités lexicales savantes*, parfaitement *spécifiques* de la science du sol, et qui sont *réellement utilisées*. Ce groupe comprend :

Alios, aliotique - Allite, allitique, allitisation - Ando - Anmoor - Latérisation, latérite, latériforme, latéritique, latérisation, latéritoïde, latérization - Latosol - Lithomarge - Lithosol - Pectisation - Peptisant, peptisation, peptonisation - Pergélisol - Permafrost - Planosol - Podzol, podzolé, podzolique, podzolisation, podzolisé - Pseudogley.

15 *unités lexicales* seulement composent ce premier groupe. Les unes proviennent de mots vernaculaires (alios, ando, anmoor, gley). D'autres sont classiquement des néologismes (allite, latérite, etc.). La plupart de ces unités lexicales sont très anciennes, elles remontent aux débuts de la science du sol (podzol) ou sont même antérieures (latérite, lithomarge). Celles qui paraissent d'origine française (est-ce le cas de lithosol et de pergélisol ?) sont rares. Presque toutes les unités lexicales de ce premier groupe désignent, ou peuvent désigner par l'une de leurs formes dérivées, soit un sol, soit un horizon pédologique. Beaucoup sont directement liées à des unités de la classification des sols (latosol, lithosol, planosol, podzol).

2° Le deuxième groupe comprend des unités lexicales pour lesquelles *le caractère néologisme savant est moins net*. Elles ont *une spécificité et une valeur informative plus faibles* que celles du premier groupe (**). Pour la plupart, elles représentent des *mots composés*, associant des préfixes, des radicaux facilement reconnaissables, à des éléments que l'on retrouve ailleurs dans le lexique, sous leur forme simple. Le radical pédo- est très fréquent. Certains auteurs par exemple parleront de pédochronologie et non de chronologie des sols, de pédofaune et non de faune du sol. Des préfixes communs (a-, paléo-, para-, per-, pré-, proto-, pseudo-) apparaissent ici. Par exemple, des rendzines peu typiques seront dites pararendzines ou protorendzines. L'emploi de ces préfixes pourrait se multiplier presque indéfiniment, créant autant d'unités nouvelles. PLAISANCE et CAILLEUX ont retenu assez peu de ces néologismes faciles. D'une façon générale, les unités lexicales de ce deuxième groupe ont une signification moins concrète, moins bien délimitée, que celle du groupe précédent. Les voici, *il y en a 28 :*

Abiologique - Ammonificateur, ammonification, ammonisation - Lithoséquence - Paléopédologie - Paléosol - Pararendzina - Pectographie - Pédofaune - Pédobactériologie - Pédobiocénose - Pédobiologie - Pédochronologie - Pédogenèse, pédogénétique - Pédologie, pédologique, pédologue - Pédophysique - Pédosphère - Perhumide - Photo-nitrification - Phytopédologie - Préhumique - Présol - Protopodzol - Protorendzine - Pseudoprofil - Pseudosol - Pseudochernozem - Pseudolimon - Pseudomorphique, pseudomorphose.

3° PLAISANCE et CAILLEUX ont retenu un certain nombre de *néologismes savants*, dont nous pensons qu'*ils n'ont pas été adoptés par les pédologues français*, à quelques exceptions

(*) En admettant la même proportionnalité pour les différentes lettres, le Dictionnaire des Sols comprendrait environ 1 500 unités lexicales pédologiques.

(**) Une unité signifiante apporte d'autant plus d'information qu'elle apparaît moins probable, ou moins prévisible. Si l'on suit en cela les théories générales de l'information, il faudra considérer par exemple que le mot « pédogenèse » dans un texte qui traite des sols donnera moins d'information que « pseudogley » ou que « porphyro-peptique ».

près peut-être. Ils seront mentionnés avec le nom de leur auteur, ou de leur pays d'origine, à l'exception de l'un d'eux dont la provenance nous est inconnue. La plupart de ces néologismes ont été créés par l'un de ces trois auteurs, H. del VILLAR (Esp.), KUBIÉNA (All.), PALMANN (Suisse). Ils ont généralement une valeur descriptive, très concrète (par exemple perdigon, porphyropectique), ou qui se rapporte à des entités proches de celle de « sol » (pédalfer, pédosérie, protopédon). Moins nombreux sont ceux qui expriment des concepts généraux, d'ordre génétique (lithochrome, phytomorphe). Les 25 *unités* de ce troisième groupe sont :

Acid-hum (Palmann) - Agripédique (del Villar) - Alk-hum (Palmann) - Alun (Palmann) - Amphigénique (del Villar) - Amphipercolatif (del Villar) - Anombrogénique (del Villar) - Lithochrome (del Villar) - Pan (USA) - Pédalfer (USA) - Pédelstal (Joffe) - Pédocal, pédocalcique (USA) - Pédolite (Angl.) - Pédosérie (Palmann) - Perdigon (Angl.) - Péripercolatif (Palmann) - Pétrogène (Palmann) - Phytogénique (?) - Phytomorphe, phytomorphique (Joffe) - Plastosol (Kubiéna) - Plectoamyctique (Kubiéna) - Polymorphe (Stephen) - Porphyropectique (Kubiéna) - Porphyropeptique (Kubiéna) - Protopédon (Kubiéna).

4° Dans ce quatrième groupe, nous mentionnerons les 5 *noms d'auteur* qui ont servi à définir *une méthode ou un critère analytique :*

Anne (méthode d') - Atterberg (limite d') - Lébédeff (méthode de) - Porchet (coefficient de) - Proctor (essai).

Les quatre premiers groupes réunissent donc des unités lexicales d'origine et de valeur peut-être différentes, mais qui appartiennent toujours *en propre à la science des sols*. Ce ne sont pas les seuls mots savants utilisés par les pédologues, qui font des *emprunts à d'autres sciences* auxquelles leurs études sont liées, ainsi que nous allons le voir maintenant.

5° C'est principalement aux sciences de la terre, *minéralogie, géologie et géomorphologie*, que la pédologie fait appel. Cela se retrouve massivement dans le vocabulaire, non seulement celui du Dictionnaire des sols mais aussi dans celui des ouvrages examinés plus loin. PLAISANCE et CAILLEUX ont collationné 78 *unités lexicales*. Il est facile de constater, pour le lexique minéralogique et géologique, que les *néologismes savants* sont de loin les plus nombreux, les termes généraux pouvant être ubiquistes (automorphe, azoïque) étant rares. Il n'en est pas de même du lexique géomorphologique (5), mais il est ici peu représenté.

Actinote - Aétite - Albite - Allevardite - Allophane - Alumocalcite - Alumogel - Alun - Ampélite - Amphibole, amphibolite - Analcime - Anauxite - Andalousite - Andésine, andésite - Anhydrite - Anorthite - Anorthose - Antigorite - Apatite - Aplite - Aragonite - Archéen - Ardoise, ardoisine, - Arénacé, arénaire, arène, aréneux, arènicole, arènophile, arénisation - Argillite, argilolite, argilophyre - Arkose - Augite - Automorphe - Aven - Azoïque - Labrador, labradorite - Lapié - Lapilli - Lavaka - Lehm, lehmeux, lehmification - Lépidocrocite - Lépédolite - Leptoclase - Leptynite - Leucite - Lévérriérite - Lignite - Limonite - Lithique, lithologique - Loess, loessification, loessique - Paléozoïque - Palygorskite - Pédiment - Pegmatite - Pélagique - Pélite - Pénéplaine - Péridot - Périglaciaire - Pétrographie - Pétrologie - Phénocristal - Phlogopite - Pholérite - Phonolite - Phtanite - Phyllade - Phyllite - Plagioclase - Pléistocène - Plutonique - Polyanite - Polyminéral - Porphyre, porphyrique - Poudingue - Pouzzolane - Psilomélane - Pyrite - Pyrochroite - Pyroclastique - Pyrolusite - Pyrophyllite - Pyroxène.

6° Nous avons relevé dans le Dictionnaire de PLAISANCE et CAILLEUX 8 *unités lexicales* d'origine biologique, à l'exclusion de ce qui se rapporte aux plantes. Elles constituent notre sixième groupe :

Actinomycète - Amylobacter - Arachnique - Arthropode - Aspergillus niger - Azotobacter - Lombric - Pseudomycélium.

Il reste maintenant à examiner *des termes largement ubiquistes*. Pour la plupart, ils appartiennent au langage courant, la science du sol leur donnant une signification plus ou moins étroitement spécialisée. Seront admis avec eux des vocables scientifiques utilisés largement par plusieurs disciplines, qui ne permettent absolument pas de préciser si le texte dans lequel ils sont rencontrés a rapport aux sols ou non. Un mot comme argile par exemple se trouve

dans bien des ouvrages littéraires. Plus spécialisés pourtant, anion, phosphate, pisolithique, précolloïde, apparaissent dans des études scientifiques très variées.

7° La science du sol a donné *une signification pédologique précise aux 34 unités lexicales* de ce septième groupe. Ainsi « lessivage » est un terme très commun qui peut se rapporter à des situations variées. Mais il désigne dans le langage pédologique des phénomènes bien caractérisés. De la même manière, on conçoit que bien des objets non pédologiques puissent être dits « allochtones », ou « exogènes », ou « allothigènes ». Pour les pédologues engagés dans le problème de la mise en place des matériaux superficiels, ces termes ont une signification nettement spécialisée.

Accumulation (horizon d', indice d') - Agrégat, agrégation - Allochtone, allogène, allothigène - Altérabilité, altération - Argile, argileux, argilisation, argilo-caillouteux, argilo-calcaire, etc. - Assimilable, assimilation - Association (de sols) - Authigène, autochtone - Azonal (sol) - Lamellaire - Laminaire - Lessivage, lessivé - Limon, limoneux - Lixiviation - Pain d'épice - Parental - Particulaire - Pénétromètre - Per ascensum - Percolat, percolation - Per descensum - Perméabilité - Physique (du sol) - Plasma - Plasticité, plastique - Polyédrique - Polygénique - Pore, poreux - Poudreuse (structure) - Prismatique - Processus (de formation) - Profil - Profondeur (du sol) - Pulvérulent.

8° Pour constituer le 8e et dernier groupe, il reste un ensemble très hétérogène de 97 *unités lexicales nettement ubiquistes*. Beaucoup correspondent à des critères de laboratoire, et peuvent être appliquées à de multiples matières non pédologiques (pH, poids spécifique, pseudo-colloïde). Certaines ont une valeur descriptive et morphologique assez bonne, mais leur emploi dans la science du sol n'est guère généralisé (aplati, pulvérulent). Enfin, beaucoup de termes sont acceptés ici parce que PLAISANCE et CAILLEUX ont cru bon de les retenir, mais leurs rapports avec les sols et plus encore avec la science des sols paraît bien indirecte (albédo, alluvion, loupe).

Ablation - Abrasion - Absorbant, absorption - Acide, acidification, acidité - Action (de l'homme, tampon) - Activation (de l'humus), activité (biologique) - Adhérence, adhésion, adhésivité - Adsorbant, adsorption - Affleurement - Affouillement - Age - Agglomérat, agglomératique - Aggradation - Agitateur (mécanique) - Agradé - Aiguille de glace (dans le sol) - Albédo - Alliance (de sols) - Alluvial, alluvion, alluvionnaire, alluvionnement, alluvium - Alumine, alumineux, aluminite - Ammonificateur, ammonification, ammonisation - Amorphe - Ampholyte, amphotère - Analyse - Anion, anionique - Anthropique, anthropogène - Aplanissement - Aplati, aplatissement (indice d') - Apocrénique (acide) - Approfondissement (du sol) - Aquatique, aqueux - Arable - Arasement - Argirine - Aride, aridité - Ascension (capillaire) - Asphixie - Association - Atmosphère (du sol) - Atterrissement - Azote - Labile - Labour - Lacune - Lacustre - Lagunaire, lagune, laguno-lacustre - Lande - Léger - Lento-capillaire (point) - Lévigation, lévigé - Liant - Liquide, liquidité - Litage - Litière - Loupe (de glissement) - Lourd, lourdeur - Lyophile, lyophilie - Lyophobe, lyophobie - Lyosphère - Lysimètre - Passif (facteur) (Joffe) - Paysage, paysage minéral, paysage pédologique - Pellicule - Pendage - Pente - Peroxyde - Perte au feu - pH - Phosphate, phosphore, phosphorique - Photométrie - Phréatique - Phtaléine - Pierre, pierreux - Piézométrique - Pisolithe, pisolithique - Plaque (structure en) - Poids (spécifique, volumétrique, équivalent, apparent) - Polder - Polyhydrol - Polymérisation - Polyuronide - Potasse, potassique - Pouvoir (cf. note infrapaginale antérieure) - Prairie - Précipitation - Prédisposition (structurale) - Prématuré (H. del Villar) - Pression (osmotique) - Propriété - Protecteur (pouvoir) - Protoxyde - Pseudo-absorption - Pseudo-colloïde - Pseudo-solution - Pulvérulent - Pycnomètre.

En *résumé*, le lexique extrait du Dictionnaire des Sols de G. PLAISANCE et A. CAILLEUX a été réparti ainsi :

1er groupe : 15 unités lexicales savantes, entièrement spécifiques de la science des sols.
2e groupe : 28 unités lexicales savantes de formation composée, à spécificité et valeur informative plus faible que dans le cas précédent.
3e groupe : 25 unités lexicales néologiques savantes, inutilisées par les pédologues français.
4e groupe : 5 noms d'auteurs servant à définir un critère ou une méthode analytique.
5e groupe : 78 unités lexicales savantes, provenant d'autres sciences de la terre, hautement spécifiques.
6e groupe : 8 unités lexicales savantes provenant des sciences biologiques.

7e groupe : 34 unités lexicales communes, ou savantes mais empruntées, auxquelles la science du sol donne une signification spécifique.

8e groupe : 97 unités lexicales nettement ubiquistes, provenant du langage commun ou de sciences tout à fait fondamentales, utilisées principalement pour des critères de laboratoire.

En *conclusion*, cette analyse permet de dégager certains aspects fondamentaux du lexique pédologique, malgré l'ancienneté du Dictionnaire ayant servi de référence. Nous retiendrons ceci, qui ne sera pas démenti dans les pages suivantes par l'examen de nouveaux textes :

— *les parlers vernaculaires* (langues mortes, ancien français, français dialectal, langues et dialectes étrangers) offrent une *collection linguistique considérable* ayant rapport au sol. Elle est pratiquement inutilisée, même sous forme dérivée, par la science du sol française. Celle-ci n'a retenu que quelques termes vernaculaires, adoptés à la suite de pédologues non francophones.

— la science du sol fait beaucoup appel à *la minéralogie et à la pétrographie*, et comparativement très peu aux sciences biologiques.

— la *spécificité* du lexique pédologique paraît *très faible*, en regard de celle du vocabulaire minéralogique et pétrographique. Celui-ci (avec un appoint géomorphologique réduit) a donné au Dictionnaire des Sols les 78 unités lexicales presque toutes hautement spécialisées du 5e groupe, auxquelles ne peuvent être comparées, du côté de la pédologie, que les 15 unités du premier groupe.

— la *distribution interne* du lexique pédologique, à l'exclusion des groupes d'emprunt (5 et 6) *confirme cette spécificité réduite*. Les auteurs du Dictionnaire n'ont évidemment pas considéré tous les « mots » pouvant apparaître dans une étude des sols, ils ont eux-mêmes fait une sélection. Malgré cela, ce sont encore les termes du langage courant, ou d'un langage scientifique tout à fait fondamental et ubiquiste, qui dominent largement (7e et 8e groupes).

— dans la population des termes pédologiques savants, ce sont ceux du 2e groupe, exprimant *les entités les plus abstraites*, d'ordre génétique souvent, qui sont *les mieux représentés*.

— *la néologie est peu pratiquée par les pédologues français*, qui n'acceptent que rarement les termes inventés par d'autres. Les auteurs cités par le Dictionnaire qui ont créé le plus de néologismes sont H. del VILLAR, W. L. KUBIÉNA, et PALMANN (*). Les USA également ont fourni de nombreux termes. Pour la même période, et si l'on excepte les néologismes de composition assez facile du 2e groupe, il ne semble pas y avoir eu beaucoup d'activité lexicale en pédologie française.

Le Vocabulaire Multilingue de la Science du Sol

Le Dictionnaire de PLAISANCE et CAILLEUX a présenté un lexique composite, dans lequel sont réunis en raison de leur rapport aux sols les termes les plus divers, d'usage scientifique ou non. Le Vocabulaire Multilingue (55) réalisé sous l'égide de la F.A.O. est très différent. Ce n'est pas comme le précédent un ouvrage linguistique. Il a été établi dans une optique beaucoup plus opérationnelle, pour faciliter l'échange d'information entre les spécialistes parlant des langues différentes. Il est le résultat d'un long travail, commencé en 1949, qui a profité des rencontres organisées par la Société Internationale de la Science du Sol et du concours de beaucoup de personnalités éminentes. Dans ces conditions, il est permis de penser que le Vocabulaire Multi-

(*) Le Dictionnaire des Sols donne peu de référence sur les auteurs consultés. S'agit-il de H. PALLMANN dont le nom aurait été mal orthographié ?

lingue sert à traduire des concepts véritablement importants, pour les pédologues ou pour les utilisateurs des sols. Par le biais du langage, nous pourrons lui demander de *faire apparaître certains centres d'intérêt majeurs.*

L'index français du Vocabulaire Multilingue fait apparaître 309 rubriques. Beaucoup d'entre elles traitent de l'utilisation des sols. C'est par exemple le cas des rubriques « besoin en engrais », « culture en bandes », ou des 12 rubriques différentes données par le mot « irrigation ». En écartant tout ce qui est d'intérêt agronomique et non pédologique, il reste *216 rubriques.* Il faut noter que ces rubriques ne se présentent pas toujours comme des « mots » simples, non plus que comme des unités lexicales telles que nous les avons définies, mais très souvent comme des locutions plus ou moins longues. Ces rubriques correspondent à autant de concepts, diversement exprimés. Nous les considérerons telles que les donne le Vocabulaire Multilingue sans les réduire aux unités lexicales fondamentales comme cela a été fait pour le Dictionnaire des Sols. C'est le « signifié » qui sera cette fois considéré. Les 216 rubriques retenues se répartissent ainsi :

1° Un premier groupe réunit les 66 *rubriques* ayant trait à la *classification des sols.* Cela représente presque le tiers du contenu pédologique du Vocabulaire Multilingue, à l'exclusion de ses références agronomiques. Cette très forte proportion, issue d'un choix fait par un groupe de pédologues, nous semble significative du *rôle particulièrement important de la classification dans la structuration et la communication de l'information* pédologique. Les rubriques concernées se répartissent ainsi.

Plusieurs (8) d'entre elles font référence à la hiérarchisation des unités taxonomiques ou à leurs liaisons spatiales (association) et génétiques (chaîne).

Association (de sols) - Chaîne de sols - Famille de sols - Grand groupe de sols - Phase - Série de sols - Sol de transition - Type de sol.

22 unités de classification sont désignées par des termes savants ou par des termes vernaculaires pouvant être pris pour des termes savants, puisqu'ils sont isolés de leur dialecte d'origine. Dans cet ensemble, deux unités peut-être (première utilisation non retrouvée) ont pu être inventées par des pédologues français. Il s'agit d'un terme vernaculaire provenant du Maroc (tirs) et adopté comme mot scientifique, et d'un néologisme classique (lithosols). Nos lecteurs reconnaîtront l'origine de la plupart des autres termes, russe pour beaucoup (chernozem, podzol, siérozem, etc.), américaine pour certains (pédalfer, pédocal). Mentionnons trois termes (ferrallitique, halomorphe, régosol) sur lesquels on pourrait s'interroger et qui, suivant le Dictionnaire des Sols, ont été créés par des auteurs de langue anglaise. Cette fois encore se vérifie la rareté de la pratique néologique dans l'école française de pédologie.

Chernozem - Chernozem dégradé - Lithosol - Pédalfer - Pédocal - Planosol - Podzol - Podzol de nappe - Régosol - Régur - Rendzine - Siérozem - Smonitza - Sol à gley - Sol ferrallitique - Sol halomorphe - Sol szik - Solod - Solonchak - Solonetz - Terra rossa - Tirs.

La catégorie restante réunit les rubriques définies en termes ubiquistes. Pour ne pas multiplier les subdivisions, nous avons admis à côté de mots parfaitement communs (rouge, montagne, prairie, etc.) des termes déjà un peu plus spécialisés (intrazonal, subdésertique, semi-tourbeux, etc.). Notons au passage que le mot « tourbe » n'est pas une création de la science du sol, puisqu'il remonte au XII^{e} siècle. Ont été conservées ici les rubriques présentées par une locution dont le dernier terme est scientifique, mais se trouve déjà mentionné à la catégorie précédente (sol beige ferrallitique, sol rouge podzolique, etc.). Ces cas marginaux mis à part, nous rencontrons dans cette catégorie des locutions parfois très banales (sol de montagne, sol de plaine, etc.). Voici les 36 rubriques en question :

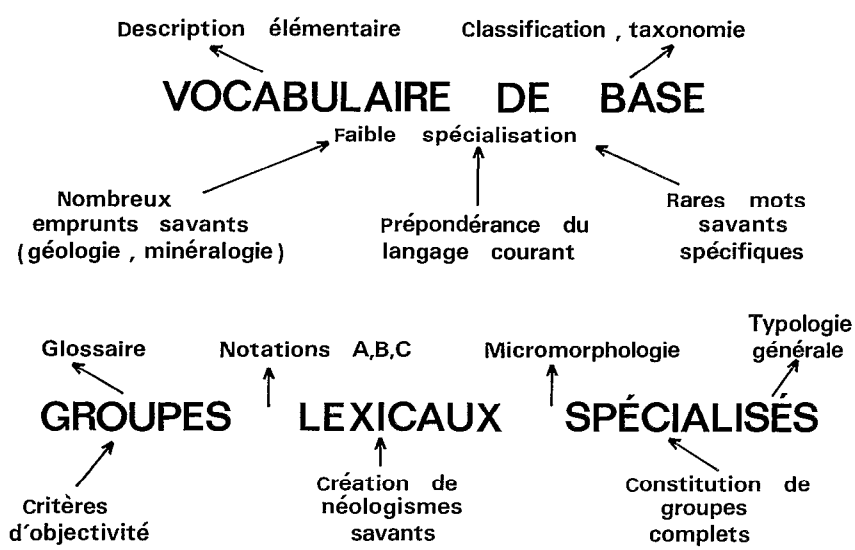
Argile grise tropicale - Limon rouge - Sol azonal - Sol beige ferrallitique - Sol brun - Sol brun-rouge - Sol brun subaride - Sol brun subaride non calcaire - Sol châtain - Sol châtain-rouge - Sol d'humus alpin - Sol de la prairie - Sol de montagne - Sol de prairie humide - Sol de toundra - Sol ferrugineux tropical lessivé - Sol gris forestier - Sol humifère à gley - Sol intrazonal - Sol lessivé - Sol ocre podzolique - Sol rouge de la prairie - Sol rouge désertique - Sol rouge ferrallitique - Sol rouge non latéritisé - Sol rouge podzolique - Sol salé - Sol salin - Sol semi-tourbeux - Sol squelettique - Sol subdésertique - Sol tempéré - Sol tourbeux - Sol zonal - Sols jaunes podzoliques - Terre rouge (latéritique).

2° Un deuxième groupe peut être établi avec *77 rubriques* ayant trait à la *description morphologique des sols*. Son importance sera notée : il représente plus du tiers du lexique retenu. Les données descriptives sont de l'ordre des constituants élémentaires (argile, sable), de l'ordre des agencements de petite taille (agrégat, concrétion, structure), elles font aussi référence à des horizons (croûte calcaire, cuirasse ferrugineuse, horizon B) et à des entités de l'ordre du profil (sous-sol, roche-mère). Le vocabulaire de la description élémentaire des sols sera examiné plus loin, nous n'insisterons donc pas plus sur ce que propose à ce sujet le Vocabulaire Multilingue.

3° Proportionnellement aussi important que le précédent, avec *78 rubriques* (*), le troisième groupe est constitué par tout ce qui se rapporte *aux déterminations physico-chimiques* faites sur les sols. Nous y relevons à titre d'exemple les rubriques suivantes, capacité d'échange, oligo-éléments, rétrogradation, tension de l'eau, etc. L'importance de cet ensemble lexical pourrait être attestée aussi par la place qu'il tient dans le « Glossary of Soil Science Terms » *(op. cit.)*, de même que dans la plupart des études pédologiques. *Nous n'examinerons pas cette partie du lexique*. Elle relève de sciences fondamentales dont le langage n'a pas les mêmes contraintes que celui de la pédologie et des autres sciences de la terre. Ceci nous évitera aussi d'alourdir notre texte par de nouvelles énumérations.

En *résumé*, l'analyse du Vocabulaire Multilingue a fait apparaître plusieurs caractères de la science du sol et de son langage :

TABLEAU 12



(*) Plusieurs rubriques (argile et limon, humus brut, moder, mor, mull) expriment à la fois des données morphologiques et des caractères appréhendés en laboratoire. Elles sont donc communes aux 2e et 3e groupes.

— la *description* des sols et leur *classification* jouent un très grand rôle. Il leur correspond *deux populations linguistiques* constituant *la partie spécialisée la plus importante* du corps lexical de base (termes savants, ou termes courants chargés d'une spécificité particulière).

— un autre groupe terminologique très important est *celui attaché aux données physico-chimiques* mesurées au laboratoire, ou beaucoup plus rarement, sur le terrain. Nous n'en tiendrons pas compte parce qu'il est trop extérieur au langage proprement pédologique et qu'il ne peut servir de terme de comparaison.

— enfin, l'examen du Vocabulaire Multilingue *confirme des remarques déja faites*. La spécialisation du lexique pédologique s.s. apparaît faible. L'école française est particulièrement peu créative en matière terminologique.

LES GROUPES LEXICAUX SPÉCIALISÉS

La distinction du vocabulaire de base et des groupes lexicaux spécialisés n'est pas parfaitement rigide. Elle est en partie motivée par la nécessité de segmenter le lexique pédologique. Certains termes inclus dans les listes précédentes vont revenir dans les nouveaux ensembles à étudier. Cependant si l'on veut bien adopter une vision générale, le vocabulaire de base apparaît caractérisé par de nombreux termes anciens et disparates quant à leur origine. Au contraire les groupes lexicaux qui vont être présentés maintenant ont été *créés ou normalisés récemment et de façon globale*, ce qui leur donne une certaine unité linguistique. Deux cas particuliers, celui des groupes d'emprunt et celui des notations A, B, C, seront placés également dans la catégorie des ensembles spécialisés. Nous avons procédé jusqu'à présent par sondage, en montrant les traits majeurs du vocabulaire de base grâce à des populations lexicales limitées. Il ne sera pas davantage question d'atteindre l'exhaustivité en ce qui concerne les nouveaux groupes à examiner.

Les groupes d'emprunt La pédologie se situe à un carrefour scientifique. Ceci se répercute au niveau du langage par l'utilisation d'ensembles lexicaux provenant de sciences fondamentales, ou périphériques par rapport à l'étude des sols elle-même. Ces groupes d'emprunt ont un caractère hautement spécialisé, dans la plupart des cas, sur le plan lexical (termes savants). Mais ils peuvent aussi être considérés comme vocabulaire de base, et nous les avons effectivement déjà fait apparaître dans les pages précédentes. C'est pour mémoire qu'ils sont présentés à nouveau.

Le vocabulaire *physico-chimique* est employé dans la plupart des études, depuis celles traitant de la pédogenèse jusqu'à celles qui prennent la fertilité pour objet. La *biologie* fournit aussi beaucoup de termes, mais leur emploi est cette fois plus limité. On ne les rencontre guère que dans les travaux sur la faune et la flore des sols, et très rarement dans les études de pédologie générale. Dans ces dernières par contre, *minéralogie et pétrographie* sont abondamment représentées. Le Dictionnaire des Sols l'a déjà montré, et il suffit d'ouvrir quelques publications de pédologie générale pour constater que les références aux roches-mères et aux minéraux primaires sont toujours présentes. La situation linguistique des sciences géologiques, minéralogie et pétrographie comprises, est certainement très différente de celle de la science du sol. Elles disposent d'un vocabulaire spécialisé considérable. Les problèmes terminologiques devraient pourtant se présenter de façon analogue dans les différentes sciences de la terre. Pour tenter, au chapitre suivant, d'établir une problématique générale du langage pédologique, quelques comparaisons avec l'exemple donné par la géologie seront utiles. C'est pourquoi seront proposées ici quelques remarques, très limitées, sur le langage géologique.

Ce qui frappe tout d'abord, c'est la surabondance du lexique, résultat d'une néologie active et depuis longtemps pratiquée. Deux exemples proches des sujets pédologiques suffiront à le rappeler. La thèse de G. DUNOYER DE SEGONZAC (*) concerne les transformations entre argiles réalisées en profondeur dans les roches, qui sont en quelque sorte symétriques de celles dues à l'altération météorique. L'auteur retrace l'histoire des notions de métamorphisme et de diagenèse, en énumérant les multiples expressions qui ont pu être proposées. Une sélection sévère n'a laissé en usage que des termes relativement peu nombreux. Il en est généralement de même pour la minéralogie des argiles. Ainsi S. CAILLÈRE et S. HÉNIN (**) ont-ils recensé 14 synonymes du mot kaolinite, et près d'une vingtaine pour montmorillonite. Dans les sciences géologiques, la création lexicale utilise des procédés classiques, parfois explicitement normalisés comme cela est le cas pour les étages stratigraphiques. Nous retiendrons plutôt comme exemple le lexique minéralogique. Un survol rapide fait apparaître des termes savants construits sur des bases gréco-latines (tridymite, lépidocrocite, etc.), des noms vernaculaires (corindon, talc, etc.), des mots dérivés de patronymes (goethite, dickite, etc.) ou de toponymes (cristobalite, ilménite, etc.). La sélection faite parmi des propositions variées permet de retenir des termes de compositions assez homogènes (affixes en -ite, -ien, etc.), généralement capables de former des dérivés (substantif, adjectif, verbe, mots composés). Pratiquement tous les noms d'argile permettent ces dérivations (chlorite, chlorito-, chloritique, chloritiser, chloritisation). La possibilité de choisir des termes bien construits compense l'inconvénient d'une prolifération lexicale, qui à certaines époques a paru abusive. Pétrographie et minéralogie donnent aussi un exemple de structures emboîtées. A un niveau élevé de généralité apparaissent les noms de roche. Ils sont définissables analytiquement par une nouvelle collection lexicale, d'ordre moins élevée. Imaginons que le terme « liparite » soit remis en cause, ou tout simplement incompris. N'importe quel manuel de pétrographie nous apprendra qu'il s'agit d'une roche à fond vitreux, à phénocristaux de plagioclase, de sanidine, de quartz, avec une composition de rhyolite calco-alcaline. Il est inutile d'en venir à une description tout à fait élémentaire, le mot « plagioclase » par exemple est là pour éviter la longue description d'un alumino-silicate tridimensionnel à substitutions isomorphes., etc. Pour qui pratique la géologie, cela semble tout à fait banal, mais nous verrons plus loin que la science du sol ne dispose pas toujours de structures aussi bien articulées.

La description élémentaire

L'analyse morphologique élémentaire des sols se fait, sur le terrain, de façon essentiellement verbale. Les paramètres chiffrés, et même les données simplement codées comme dans le cas des couleurs, restent rares. Instrument essentiel de cette analyse, le vocabulaire descriptif a fait l'objet d'assez fréquents essais de normalisation. Les pédologues américains ont actualisé le leur à plusieurs reprises, dans les « Soil Survey Manual », puis dans la « 7Th Approximation », et enfin dans leur « Soil Taxonomy ». En 1968, la F.A.O. a présenté des « Directives pour la description des sols » très proches de celles instituées par l'U.S.D.A.

Les pédologues français eux aussi ont codifié leur vocabulaire descriptif, et l'ont présenté dans un « Glossaire » (43) rédigé au cours d'un travail collectif. Bien que ce Glossaire soit connu sinon utilisé par tous, nous rappellerons certains termes de son introduction. Il a été établi pour « la collecte des données ». Celles-ci devant être « objectives, précises et normalisées », il faut « retenir uniquement comme descripteurs des concepts débarrassés de toute interprétation ». La pensée génétique est repoussée mais non condamnée, les auteurs l'annoncent

(*) DUNOYER DE SEGONZAC (G.) - 1969 - Les minéraux argileux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lor.*, n° 29, 320 p.

(**) CAILLÈRE (S.), HÉNIN (S.) - 1963 - Minéralogie des argiles. Masson, 355 p.

indirectement en présentant « le sol non pas comme un matériau, mais comme une entité organisée ». Mais au niveau de la description élémentaire une rigoureuse objectivité doit être de règle, *le langage sera strictement analytique*. Il placera le pédologue dans la situation théorique d'un observateur regardant un sol pour la première fois. C'est pourquoi il est normal de trouver ici *un groupe lexical non spécifique*, le moins spécifique sans doute de tous les ensembles terminologiques qui composent le langage général de la science du sol (*).

Le vocabulaire du Glossaire a été intégralement dépouillé, à l'exclusion de la partie non descriptive du texte (note liminaire, introduction, et rares autres remarques générales). Sauf erreur ou omission, nous disposons donc de tous les mots susceptibles d'être utilisés lors d'une étude morphologique de terrain. Le vocabulaire ainsi constitué représente un total de *trois cents unités lexicales* (**). Il couvre une gamme linguistique beaucoup plus large que celle d'un dictionnaire scientifique spécialisé, lequel écarte systématiquement tout ce qui exprime une modalité, une intensité, une qualité banale. Il apparaîtra plus loin que cette partie du lexique a son importance.

Strictement analytique sur le plan des organisations pédologiques, la description prévue par le Glossaire n'évite pas tout recours à certaines données scientifiques fondamentales. Elle fait référence aux roches-mères, et indique la nature chimique de certains matériaux. Le Glossaire contient *quelques groupes lexicaux d'emprunt*, d'importance assez limitée puisqu'ils ne représentent en tout que *77 unités lexicales*. Faible en valeur absolue, et en valeur relative par rapport à tout ce que les sciences fondamentales pourraient fournir, ce chiffre correspond pourtant au cinquième de l'ensemble considéré. Il ne semble pas nécessaire de détailler tous les termes classés dans ces groupes d'emprunt, dont nous avons déjà donné quelques exemples dans les pages précédentes. C'est ici que sont placés des mots comme « granite », « hydroxyde », « organique », « polyédrique », « prismatique », etc. Le lecteur ne s'étonnera pas de leur absence dans les listes suivantes.

Nous essaierons de classer les 233 *unités lexicales* restantes en fonction d'une spécialisation décroissante. Il semble n'y avoir qu'un seul terme qui soit une création parfaitement originale de la science du sol, et qui suffirait donc par sa seule présence à reconnaître le caractère pédologique d'un texte. C'est le mot « pédode », dont la présence ici, en parfait isolement, surprend quelque peu. A côté de ce néologisme typique, seront placés les *mots composés*, facilement créés à partir de bases terminologiques banales. Nous n'avons relevé que 9 *unités* de cette sorte, mais dans la pratique des descriptions leur nombre sera plus élevé, en raison de toutes les combinaisons possibles (argilo-sableux, argilo-limoneux, etc.). Les voici (***) :

Argilo-sableux - Argilo-ferrugineux - Inter-granulaire - Organo-argileux - Semi-rigide - Silicophosphaté - Sous-structure - Subanguleux - Sur-structure.

La catégorie suivante réunit des termes issus du langage courant, mais qui ont pourtant un *degré de spécialisation moyen*. Ils font généralement référence à des substances, des formes, des états de matière. Pris isolément, ils ne permettent pas d'affirmer leur rapport à un objet pédologique. Par contre si l'on juxtapose plusieurs de ces termes, il devient évident que les sols sont leur domaine d'application. Ainsi le mot « argile » qui est pourtant l'un des plus

(*) Le lecteur comprendra que cette absence de spécificité se rapporte aux termes eux-mêmes. Par l'usage qui en est fait, le groupe lexical de la description élémentaire peut être pris comme corpus spécialisé. Il s'agit d'un de ces groupes créés ou normalisés récemment, et de façon globale, que nous avons opposés au vocabulaire de base.

(**) Le chiffre exact serait 310, toujours sauf erreur ou omission.

(***) « Silicophosphaté » et « subanguleux » auraient pu tout aussi bien être considérés comme termes d'emprunt.

précis, peut apparaître dans plusieurs niveaux de langue, et jusque dans le langage poétique ou dans celui de certains artistes. Si l'on y ajoute quelques mots pris au hasard dans la liste qui suit (consistant, poreux, structure, vacuole par exemple), il devient certain que l'on se trouve devant une information de nature pédologique, et la signification de chaque terme est précisée. Ces mots de spécialisation moyenne forment une liste de 68 *unités lexicales :*

Adhésif, adhésivité - Altéré, altération - Arène - Argile, argileux - Boulant - Caillou - Carapace - Chevelu - Cimenté, cimentation - Cohérent, cohésion - Colonne - Concrétion, concrétionné - Consistant, consistance - Contraste, contrasté - Croûte - Cuirasse - Dur, dureté - Effervescence - Efflorescence - Élastique - Émoussé - Encroûtement - Fibreux - Feuilleté - Frais - Fragile - Fragmentaire, fragment - Friable, friabilité - Gravier - Grenu - Grumeleux - Horizon - Humide, humidité - Induré - Irrigation - Labouré - Lamellaire - Limon, limoneux - Malléable - Massif - Meuble - Nodule, nodulaire - Noyé - Pâteux - Particulaire - Plastique, plasticité - Plaquette - Pore, poreux - Racine - Ressuyé - Retrait - Revêtant, revêtement - Rigide - Sable, sableux - Sec - Sol - Soussolage - Squammeux - Squelette - Structure, structural - Tache - Tendre - Terrier - Tubule, tubulaire - Trainée - Vacuole, vacuolaire - Vase - Vide.

La dernière catégorie constituée est *encore moins spécialisée* que la précédente. C'est pourtant de loin la plus abondante, puisqu'elle comprend 155 *unités lexicales*. Même en considérant tout cet ensemble, rien ne permet d'affirmer qu'il définit un objet pédologique. Ceci n'est pas contradictoire avec la précision prise par les différents termes dans des situations bien caractérisées. Les termes de *couleur* par exemple apportent des données d'autant plus objectives qu'elles font référence au Code Munsell. Ce sont :

Blanc - Bleuâtre - Brun - Brunâtre - Clair - Coloris - Couleur - Foncé - Gris - Grisâtre - Jaune - Jaunâtre - Luisant - Noir - Olivâtre - Olive - Pâle - Rouge - Rougeâtre - Rosé - Sombre - Terne - Verdâtre - Vert - Vif.

De nombreux termes apportent des indications sur *les formes et les distributions spatiales :*

Allongé - Amas - Anguleux - Aplati - Arête - Arrondi - Autour - Bande - Cavité - Dévié - Dimension - Distant - Écartement - Entre - Épais, épaisseur - Étendu - Extension - Face - Fente - Fin, finesse - Fissure - Forme - Galerie - Grossier - Horizontal - Inférieur - Interrompu - Interstitiel - Juxtaposition - Largeur - Limite - Localisé, localement - Mince - Oblique - Ondulé - Orientation - Pellicule - Pénétrant, pénétration - Profondeur - Raie - Régulier, régularité - Recouvrant, recouvrement - Relatif, relation - Réparti, répartition - Rubané - Semelle - Sous-jacent - Trainée - Uniforme - Vertical - Visible - Voisin.

Il est intéressant de noter l'objectivité, ou si l'on préfère la neutralité épistémologique de ce vocabulaire de description spatiale. Rares sont les termes implicitement interprétatifs, comme « dévié » qui semble prendre pour référence une direction autre, « interrompu » qui fait entrevoir une disposition antérieure disparue, « pénétration » dont le sens est évidemment dynamique, « recouvrement » qui sous-entend une succession d'épisodes. Nous verrons au chapitre suivant que les dispositions spatiales peuvent être décrites avec un tout autre vocabulaire, qui introduit implicitement des schémas interprétatifs sans cesse répétés.

Strictement objectifs, les termes suivants cherchent à exprimer *présence, absence et quantité*. Malgré l'extrême banalité de certains d'entre eux (comme « très », « sans », etc.), ils prennent dans les descriptions une importance considérable :

Abondant, abondance - Apparemment - Aucun - Décelable - Degré - Dense - Distinct - Dominant - Éventuel - Faible - Fort - Général, généralisé, généralisation - Identifié - Important - Individualisé - Légèrement - Masse - Moins - Moyen - Net, netteté - Nombreux - Non - Nul - Peu - Possible - Plus - Présence - Quelque - Sans - Teneur - Très - Volume.

Il reste maintenant à mentionner un certain nombre de termes hétérogènes, qui n'ont pas pu rentrer dans les ensembles précédents :

Activité - Animal - Approximatif - Arrachement - Associé, association - Autre - Aussi - Avec - Bloc - Bombe - Boue - Caractère - Cendre - Collant - Complexe - Coquille - Dalle - Débris - Défoncé - Diffus - Directement -

Distribution - Élément - En - État - Glissement - Graduel - Hétérogène, hétérogénéité - Irrégulier, irrégulièrement - Matériau - Matière - Masse - Nature - Nid - Nom - Outillage - Poterie - Préférentiel - Ruine - Si - Test - Trace - Transition - Travail - Type - Unité.

Ce classement terminé, nous proposerons les *conclusions* suivantes :

— Dans son introduction, le Glossaire affirme : « le langage de la pédologie est riche ». C'est plutôt la thèse inverse que nous soutenons ici pour l'ensemble du langage de la science du sol. En ce qui concerne uniquement la description élémentaire, il est possible que deux cent trente unités lexicales (à l'exclusion des emprunts scientifiques, lithologiques pour la plupart) constituent un bon vocabulaire. Encore faut-il souligner qu'il est *entièrement issu du langage courant.* Si la pédologie se dit linguistiquement riche, c'est à bon compte.

— Le Glossaire a certainement édifié *un excellent outil analytique.* Il n'est pas possible, à la suite de l'examen du lexique, de dire si l'analyse permise sera suffisamment détaillée ou exhaustive. Ce qui apparaît, c'est que le vocabulaire a été qualitativement bien constitué. Par le choix de ses termes, il garantit la neutralité interprétative, *l'objectivité* de l'analyse.

— Le caractère rigoureux de l'analyse a malheureusement pour corrélatif *la longueur du texte,* encore aggravée par les contraintes d'une utilisation informatique. En s'interdisant tout terme synthétique, le Glossaire conduit à des descriptions très lourdes, devenant à la limite illisibles par des lecteurs raisonnablement économes de leur temps. Dans les exemples donnés par le Glossaire, deux pages de petit format sont nécessaires pour un sol d'un mètre de profondeur. Combien en faudra-t-il pour un sol ferrallitique très développé et dans lequel l'imbrication fréquente de plusieurs phases (meubles, gravillonnaires, tachetées, etc.) complique l'analyse ?

Notations A, B, C et autres symboles

Les premiers sols étudiés par V. V. Dokuchaev et N. M. Sibirtzev ont été décomposés en trois unités, très simplement désignées par les lettres A, B, C. Cette notation s'est maintenue jusqu'à l'heure actuelle, avec un certain nombre de variantes ou d'adaptations à des sols particuliers. Pour beaucoup de pédologues encore, elle constitue l'unique moyen de désignations des horizons. Dans ce système de notation, *aux trois lettres fondamentales* (A, B, C) s'ajoutent des *chiffres et lettres complémentaires.*

Les chiffres interviennent les premiers. Ils servent habituellement à positionner des sous-horizons, sans apporter d'indication directe sur leur nature. C'est le cas par exemple dans la suite B_{21}, B_{22}, B_{23}, etc. Mais il arrive aussi que le chiffre soit pris comme signe représentatif d'un critère pédologique particulier. Ainsi pour certains auteurs, A_2 désigne un horizon cendreux blanchi. En son absence la série des sous-horizons A s'écrit A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{31}, A_{32}, etc. De même, C_1 et C_2 peuvent différencier des horizons d'altération suivant qu'ils sont à structure conservée ou non. D'une façon générale cependant, les chiffres apportent peu d'information pédologique. Dans une notation comme B_{22}, que nous prenons à titre d'exemple, le chiffre 22 ne sert pas à identifier explicitement un certain critère pédologique. Tout au plus indique-t-il une différenciation assez poussée de l'horizon B et de son sous-horizon B_2. Dans ces conditions, les chiffres accolés aux trois lettres fondamentales sont assez peu significatifs. Ils n'expriment guère plus qu'une probabilité de voir apparaître telle organisation après telle autre.

Les lettres complémentaires suivent ces chiffres. Ce sont elles qui apportent l'essentiel de l'information. Pourtant, ce nouveau niveau de symbolisation ne comporte qu'assez peu d'unités de différenciation. Ainsi la commission spécialisée de l'A.I.S.S. *(op. cit.)* n'a collationné en principe pour tous les sols connus, que 20 lettres-symboles, qui sont : a, b, ca, cn, cs, f, fe, g, h, l, m, na, o, ox, p, r, s, sa, t, x. Dans la 7 th Approximation, le nombre des lettres-symboles

se réduit à 14 : b, ca, cn, cs, f, g, h, ir, m, p, sa, si, t, x. Il est d'ailleurs curieux de noter que la 7 th Approximation conserve cette symbolisation, alors qu'elle propose 18 horizons de diagnostic. L'information que peut traiter la symbolisation A, B, C reste largement inférieure à celle impliquée dans les définitions typologiques nouvelles. Une situation comparable s'est reproduite à propos des sols ferrallitiques. Une notation de type A, B, C utilisant 12 symboles complémentaires a été adaptée à ces sols par D. MARTIN (*) : cr, g, gr, h, ps, r, s, t, u, v, V. Cet ensemble de symboles ne recouvre que difficilement une typologie (27) identifiant dans les sols ferrallitiques 7 horizons majeurs et un nombre assez élevé de critères supplémentaires. Ces quelques exemples montrent que les notations sur la base A, B, C, sont restées généralement assez peu détaillées. Certains auteurs les complètent, utilisant parfois des signes typographiques divers. On peut alors trouver des horizons désignés par des assemblages comme celui-ci : A'_2 gncî (13).

Les insuffisances du système A, B, C sont manifestes : beaucoup de sols s'accommodent mal d'un découpage en trois termes principaux seulement, et d'un sol à l'autre ce sont des matériaux très différents que doivent désigner les mêmes lettres. Aussi plusieurs auteurs ont-ils voulu *compléter les notations fondamentales*. C'est ainsi que l'on a distingué les horizons B illuviés des horizons (B) non illuviés. Par la suite de nouvelles notations E, K, O, R ont été proposées, avec un statut homologue à celui de A, B et C, c'est-à-dire correspondant à ce que l'on peut dénommer un horizon majeur.

Si l'on accepte de s'écarter du cadre primitif à trois termes, il apparaît facile de perfectionner la notation, ou même de créer *un nouveau système de symbolisation* suffisamment complexe pour s'adapter à la réalité à représenter. C'est la solution du perfectionnement du système antérieur qu'a retenue M. A. GLAZOVSKAYA (**). La liste des horizons principaux est élargie. Aux lettres A, B, C viennent s'ajouter E, G, M, S, T. Le pédoclimat peut-être représenté par des tirets placés au-dessus ou au-dessous de ces lettres. Un horizon fossile se trouve placé entre parenthèses. La composition chimique ou minérale est donnée par des symboles chimiques classiques, ou par des initiales (h pour humique, f pour fulvique, etc.). Des chiffres enfin (de 1 à 3) donnent une mesure de l'intensité des processus correspondants. Chaque horizon reçoit alors un symbole complexe, et les profils sont représentés par l'assemblage de tels symboles. Par exemple, un sol ferrallitique meuble et un sol cuirassé pourront être respectivement représentés par :

$$\frac{A^2}{fbhH^+} \qquad \frac{M_3}{kH^+Fe_2O_3}\,C \qquad \text{et par} \quad \frac{A}{fH^+Fe^{+++}}, \qquad \frac{(S)}{Fe^{+++}}, \qquad \frac{Mg}{kFe^{++}Fe^{+++}}\,C$$

Le système établi par E. A. FITZPATRICK (***) utilise une notation basée elle aussi sur l'identification d'un certain nombre d'horizons. Mais ici les notations traditionnelles A, B, C sont complètement abandonnées. FITZPATRICK (nous le verrons plus loin) a défini un certain nombre d'horizons, chacun d'eux recevant un nom particulier. Les notations se font par deux lettres (dont l'initiale) prises dans le nom de chaque horizon. Le développement de l'horizon est indiqué (en centimètres) par un index chiffré. Les profils sont représentés par la suite des symboles affectés aux différents horizons qui les composent. Voici comment s'écrit, suivant FITZPATRICK, un krasnosem typique :

Tn5 Ks300 Vs200 Fb200 AKw300 AK

(*) MARTIN (D.) - 1972 - Choix d'une notation des horizons de sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 10, 1, pp. 45-57.

(**) GLAZOVSKAYA (M. A.) - 1966 - Principles for classifying soils of the world. *Soviet Soil Science*, 8, pp. 857-877.

(***) Voir pages suivantes.

Il est possible enfin d'établir des systèmes de notations qui ne soient plus aussi directement liés à la définition d'un certain nombre d'horizons. A la suite de K. H. NORTHCOTE (*) les pédologues australiens (**) utilisent un système dichotomique à plusieurs niveaux, avec représentation par lettres et chiffres. Les sols sont en premier lieu partagés en quatre groupes : « organic » noté O, « uniforme » noté U, « gradational » noté G, « duplex », noté D. Chaque niveau de la « clé » de notation fait apparaître de nouveaux critères morphologiques. C'est la texture par exemple qui subdivise, au niveau suivant, la catégorie U en quatre subdivisions Uc, Um, Uf, Ug. Structure, couleur, etc., sont introduites à deux niveaux supplémentaires. Les sols finissent par être caractérisés par des sigles de la forme de ceux-ci : Uc1-11, Uc1-12, etc.

Nous avons considéré rapidement quelques exemples de codification des données pédologiques, les premiers se rattachant au système A, B, C et les autres s'en détachant plus ou moins complètement. Sans donner davantage de détail, nous pouvons *conclure :*

— les notations A, B, C et leurs symboles complémentaires ont été pendant longtemps le *seul moyen de nomination des horizons pédologiques*. Pour certains auteurs, elles conservent encore un rôle privilégié.

— même avec les additifs proposés par l'A.I.S.S., ces notations sont *insuffisantes en regard de la diversité des sols*. Le fait d'être connues de tous les pédologues ne constitue qu'un avantage limité, dans la mesure où la valeur informative reste faible.

— il est facile de *créer de nouveaux systèmes de codification* adaptés à des buts variés, suivant divers modes de symbolisation. Par contre il est peu probable que de nouveaux systèmes soient rapidement acceptés par tous les pédologues.

La typologie générale

En adoptant quelques noms vernaculaires (mor, anmoor, mull, moder, gley, etc.), les précurseurs (P. E. MULLER notamment) et premiers pédologues européens ont constitué *l'embryon d'un groupe lexical typologique*. Ce mouvement vers la constitution d'une terminologie spécialisée s'est très vite arrêté, probablement en raison du succès des notations, A, B, C proposées par les pédologues russes. Les premiers termes retenus sont restés longtemps en usage, ne couvrant qu'une fraction réduite du domaine pédologique.

C'est avec la 7 th Approximation, en 1960, qu'est apparu *le premier groupe lexical typologique, homogène et complet*. Il comprend essentiellement les unités suivantes :

Mollic epipedon - anthropic epipedon - umbric epipedon - histic epipedon - ochric epipedon - plaggen epipedon - argillic horizon - agric horizon - natric horizon - spodic horizon - cambic horizon - oxic horizon - duripan - fragipan - calcic horizon - gypsic horizon - salic horizon - albic horizon.

Parmi ces 18 unités lexicales, 2 seulement (duripan, fragipan) se présentent comme des termes indépendants. Toutes les autres sont composés d'un adjectif, qui représente le principal élément signifiant, accolé à « horizon » ou à « epipedon ». Ces derniers termes ont une valeur comparable, le premier ne s'applique qu'aux parties profondes du sol, le second aux formations de surface. Il faut noter que la terminologie n'a qu'*une capacité de dérivation à peu près nulle*. Les différentes unités lexicales doivent être utilisées telles quelles. On ne peut par exemple tirer de substantif de l'adjectif oxique, l'utilisation du mot horizon est obligatoire. Il n'est pas non

(*) NORTHCOTE (K. H.) - 1960 - Factual key for the recognition of australian soils. *Aust. Soils Div. div. Rept.* 4/60.

(**) C.S.I.R.O. - 1968 - A handbook of australian soils. Rellim Techn. Publ., Glenside, Australia, 435 p.

plus possible d'obtenir de termes pour les processus de formation. Ajoutons que les différents termes typologiques n'ont pas à s'associer entre eux. *Les intergrades n'existent pas*, les définitions étant données en extension (épitomés).

Plus récemment, *un nouveau système* a été édifié par E. A. FITZPATRICK (*, **) dans le but de couvrir tous les sols connus, ainsi qu'il en était pour la 7 th Approximation. Nous ne comparerons pas les deux systèmes quant à leur valeur pédologique, mais seulement sur le plan du langage. La première remarque à faire est que *le bagage lexical* est ici *beaucoup plus abondant*, puisque 77 néologismes sont employés pour les divers types d'horizons reconnus par l'auteur. La construction de ces néologismes paraît *plus élaborée* que dans le cas précédent. Tous se terminent par le suffixe « on » qui suffit à indiquer qu'il s'agit d'un horizon, rendant par là superflue la répétition de ce dernier terme. Par changement du suffixe, ils acquièrent également *une certaine capacité de dérivation*. La présence d'un unique horizon suffit parfois à identifier une catégorie de sol. Celle-ci reçoit alors un nom dérivé de celui de l'horizon, par remplacement de « -on » par « -sol » ou « -zem ». Il ne semble pas par contre que l'auteur ait prévu l'emploi de radicaux utilisables en préfixes, ni d'adjectifs. Les horizons sont définis suivant des orthotypes, et non comme des épitomés à limites strictes. Il peut donc exister de nombreux intergrades, très simplement désignés par la juxtaposition de deux noms. Voici d'abord les horizons qui ne définissent pas, étant isolés, une catégorie de sol particulière :

Alkalon - amorphon - anmooron - calcon - candon - celon - cerulon - chloron - crumon - cumulon - dermon - duron - fermenton - ferron - fibron - flambon - fragon - gleyson - glosson - gluton - gypson - gyttjon - hamadon - hudepon - humifon - husesquon - hydromoron - ison - jaron - kuron - limon - liton - litter - luton - marblon - minon - modon - mullon - oron - pallon - pesson - plaggon - primon - proxon - pseudofibron - rubon - rufon - sapron - sesquon - sideron - sulfon - tanon - veson - zolon.

Dans la liste qui suit au contraire, à chaque nom d'horizon est associé un nom de sol :

Alton, altosol - andon, andosol - arénon, arénosol - argillon, argillosol - buron, burozem - chernon, chernozem - clamon, clamosol - cryon, cryosol - flavon, flavosol - gelon, gelosol - halon, halosol - kastanon, kastanozem - krasnon, krasnozem - luvon, luvosol - pélon, pélosol - placon, placosol - planon, planosol - rosson, rossosol - séron, sérozem - solon, solod - thion, thiosol - verton, vertisol - zhelton, zheltozem.

Jusqu'à présent, l'école française de pédologie n'utilise pas de système typologique original, valable pour l'ensemble des sols. Ce n'est que pour les sols ferrallitiques que Y. CHATELIN et D. MARTIN (27) ont constitué une *terminologie typologique* réunissant des néologismes et des termes déjà en usage. Au stade actuel de notre analyse, les motivations de cette entreprise seront facilement comprises par le lecteur. Elles reposent sur un constat d'insuffisance du lexique pédologique de base. Cette insuffisance est aggravée par le fait que ce sont habituellement *trois sous-langages hétérogènes l'un à l'autre* qui sont utilisés pour établir une typologie des sols (au sens large). Le premier ne s'applique qu'à la condition d'avoir une appréhension complète des profils, ou tout au moins d'une partie supérieure suffisante des profils : c'est le sous-langage constitué par la classification. Une vision plus restreinte, qui s'établit au niveau des principales unités constitutives du sol, s'exprime par un deuxième sous-langage, celui de la désignation des horizons A, B, C. Un peu plus de détail encore, si le corps observé n'a plus les dimensions d'un horizon, conduit au troisième sous-langage, qui est celui de la description élémentaire. Il n'y a *aucune unité lexicale ou symbole communs* à ces trois sous-langages.

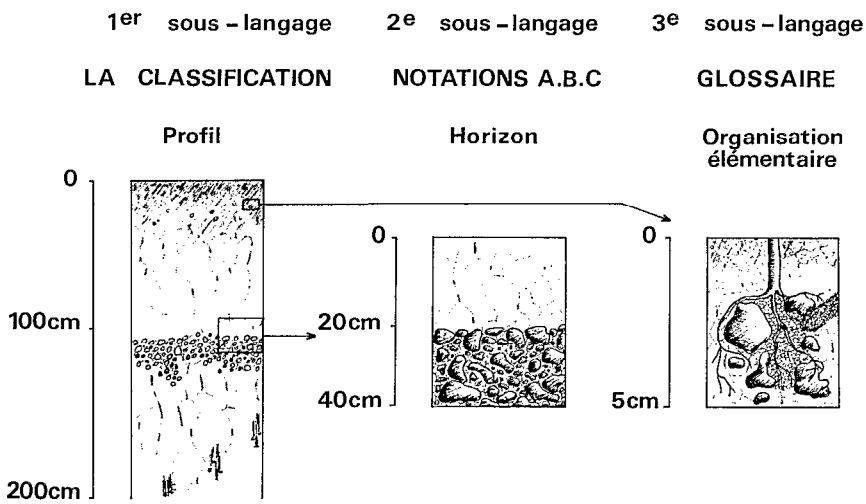
La terminologie typologique des sols ferrallitiques cherche, dans une certaine mesure, à *rétablir l'unité du langage*. Ceci n'interdit pas de recourir ultérieurement à des niveaux

(*) FITZPATRICK (E. A.) - 1967 - Soil nomenclature and classification. *Geoderma*, 1, pp. 91-105.
(**) FITZPATRICK (E. A.) - 1971 - Pedology. A systematic approach to soil science. Oliver & Boyd, 306 p.

de formalisation distincts, et de faire apparaître des emboîtements de structures. Mais en évitant des discontinuités artificielles créées par trois sous-langages différents, la terminologie souligne que les horizons, entités définies seulement à partir d'une certaine extension spatiale, sont constitués par des micro-organisations. Elle permet ensuite de retrouver dans la caractérisation des profils pédologiques complets les critères déjà utilisés au niveau de l'horizon, toujours sans changement de nomination. Les mêmes concepts, les mêmes mots, peuvent être maintenus à diverses échelles d'observation. L'*unification du champ lexical* considéré est grandement *favorisé par l'adaptativité du vocabulaire choisi*, et plus précisément par ses capacités de dérivation et d'association. Ainsi, une même base lexicale peut donner « structi-, structichron, structichrome, structichromation ». Pris isolément, structichron paraît homologue des termes créés par E. A. FITZPATRICK, tant par la construction du mot, que par son application à un horizon.

TABLEAU 18

LES TROIS SOUS - LANGAGES



Ici, ce dernier terme peut apparaître (horizon structichrome) ou non (structichron). Et surtout, la possibilité de former un dérivé adjectival a facilité *un démarquage par rapport à la notion d'horizon, au profit de la notion de phase*. Il est apparu très commode, au cours des études qui ont suivi la création de la terminologie, de décrire certains matériaux pédologiques comme associations ou juxtapositions de phases distinctes. La phase structichrome est couramment associée à une phase altérite, rétichrome, etc. *Les terminologies minéralogiques et micromorphologiques* complètent sans difficulté la précédente. On décrira, par exemple, une phase structichrome rouge, kaolinitique et agglomeroplasmique en inclusion dans un allotérite gibbsitique lattisépique. Ajoutons que les matériaux intermédiaires peuvent être désignés par l'accolement d'un radical à un nom (structi-altérite, par exemple). La description des matériaux complexes devient incomparablement plus précise qu'avec la notation par intergrades de type B-C, sans pour autant gagner la lourdeur des descriptions analytiques élémentaires (Glossaire).

En premier lieu, cet ensemble terminologique comprend les termes qui définissent les 7 horizons majeurs reconnus dans les sols ferrallitiques, et qui peuvent être aussi employés

pour désigner des phases pédologiques plus discrètes. Les voici, mentionnés avec deux dérivés seulement (adjectif et substantif) et parfois avec des radicaux complémentaires :

Altérite, allotérite, isaltérite, altéritique - appumite, appumique - gravélon, graveleux - gravolite, gravillonnaire - rétichron, rétichron s.s., duri-rétichron, rétichrome - stérite, fragi-stérite, pétro-stérite, stérimorphe - structichron, épi-structichron, hypo-structichron, structichrome.

La typologie est complétée par d'autres diagnostics, se référant à l'organisation générale des profils, aux structures, etc. Les plus significatifs d'entre eux forment cette liste :

Achromique - aliatique, aliatode - alumoxique - amérode - amphoxique - anguclode - apalode - apexol, brachy-apexol, lepto-apexol, ortho-apexol - balichrome - dyscrophe - eseptol - ferroxique - grumoclode - nuciclode - pardichrome - parorthique - pauciclode - psammoclode - régolique.

Des termes antérieurs enfin, empruntés à la 7 th Approximation (ochrique, ombrique, etc.) ou plus anciens encore, sont également employés. Non spécifiques de la typologie des sols ferrallitiques, ils ne seront pas mentionnés ici.

En *conclusion*, de notre examen des trois ensembles typologiques précédents, nous proposerons les remarques suivantes :

— L'établissement de typologies générales, dégagées des anciennes notations, est une entreprise *très récente* de la science du sol. Alors que les classifications se sont multipliées, les systèmes typologiques restent peu nombreux. L'école française n'a créé qu'un ensemble terminologique limité à une certaine catégorie de sols, sans pour autant adopter un autre système déjà constitué.

— la typologie peut s'établir par *la nomination d'un certain nombre d'horizons*. Elle peut aussi s'exprimer par *un langage plus souple*, qui donne la possibilité de maintenir la référence à la notion traditionnelle d'horizon, ou de s'en abstraire le cas échéant. Il faut alors disposer d'un lexique ayant des facilités d'adaptation.

Le lexique micro-morphologique

Il semble que les micromorphologues soient en train de créer, dans leur domaine, une situation linguistique assez inhabituelle pour la science du sol. Pratiquant une *néologie active*, ils ont déjà constitué *un lexique abondant*, malgré la relative jeunesse de leurs travaux. Fondateur de la discipline, W. L. KUBIÉNA a expliqué (*) comment il a commencé à établir son vocabulaire. Des réminiscences issues des sciences biologiques l'ont amené à définir dans les sols un « squelette » et un « plasma ». Ces deux constituants fondamentaux forment des assemblages qui ont été décrits sur le modèle de la pétrographie. C'est ainsi que sont apparus les termes, toujours en usage pour certains, parfois légèrement transformés, tels que « intertexique », « porphyropeptique », « agglomératique », etc. Dans la suite de ses propres travaux, KUBIÉNA a fini par abandonner un ensemble terminologique dont il redoutait la complexification et l'ésotérisme croissants. Mais ce système dont il avait jeté les bases a été repris et complété par R. BREWER (**), et est devenu largement employé, par les pédologues français notamment. Pourtant, il ne fait pas l'unanimité. G. STOOPS et A. JONGERIUS (***) l'ont récusé en raison de ses concepts fondamentaux de squelette et de plasma, qui introduisent des présupposés sur la stabilité des constituants. Ces nouveaux auteurs

(*) KUBIÉNA (W. L.) - 1970 - Micromorphological features of soil geography. Rutgers University Press, 254 p.

(**) BREWER (R.) - 1964 - Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley & Sons, 470 p.

(***) STOOPS (G.), JONGERIUS (A.) - 1975 - Proposal for a micromorphological classification of soil materials. *Geoderma*, 13, pp. 189-199.

ont à leur tour créé une terminologie descriptive des arrangements entre particules définies par leurs tailles, leurs natures, etc. De plus, de nombreux auteurs introduisent en matière de micromorphologie de nouveaux concepts et de nouveaux termes, sans toujours constituer de système complet comme dans les deux cas précédents. Nous citerons par exemple M. GAVAUD (*) et B. C. BARRATT (**). A ces créations véritables, systématiques ou partielles, il faut ajouter tout un travail de traduction et d'adaptation des terminologies. Les pédologues français ont à plusieurs reprises préparé un glossaire de micromorphologie, sur des emprunts généralement faits à BREWER. Un séminaire de micromorphologie tenu à Grignon en septembre 1971 a constitué ainsi 150 rubriques. En raison de ces nombreuses créations et adaptations récentes, il deviendrait difficile de comptabiliser ce lexique actuellement en pleine évolution. Plutôt qu'une approche quantitative, nous tenterons de faire apparaître certains de ses caractères linguistiques fondamentaux.

Malgré la différence d'échelle, les analyses morphologiques faites au niveau macro et au niveau micro pourraient présenter certaines similitudes. Nous avons vu que la description élémentaire (niveau macro) se situe dans une optique strictement analytique, qu'elle dispose d'un vocabulaire normalisé, objet de beaucoup d'attention. A un niveau de synthèse un peu plus élevé par contre, les seules structures hiérarchisées généralement reconnues sont les horizons, et elles ne bénéficient pas toujours d'un système de désignation très circonstancié. Il en va différemment avec le lexique micromorphologique. On conçoit qu'une lame mince observée au microscope puisse être décrite avec un vocabulaire analogue à celui du Glossaire *(op. cit.)*, c'est-à-dire de façon minutieuse, non-interprétative, et très longue. Les micromorphologues ne procèdent pas uniquement ainsi. Ils ont identifié un certain nombre de figures ou de modes d'assemblage complexes, qui ont reçu des noms. C'est sur la base de ces *diagnostics représentant un niveau de synthèse intermédiaire* que les descriptions sont présentées. Elles paraissent très denses. Voici pour exemple quelques termes, issus du vocabulaire francisé de R. BREWER, qui ont une valeur de synthèse :

Agglomeroplasmique - agrotubule - argilane - argilasépique - asépique - bimasépique - calcane - cristallaria - cutane - ferrane - ferri-argilane - glébule - granotubule - insépique - intertexique - inundulique - isotubule - masépique - mosépique - nodule - omnisépique - papule - ped - plasma - porphyrosquelique - sesquane - squelétane - squelette - squelsépique - striotubule - vosépique.

Le lexique micromorphologique réunit tous les caractères d'une *forte spécialisation*. Les termes empruntés sont pour la plupart strictement scientifiques, minéralogiques ou chimiques. Les néologismes destinée à la description des faits micropédologiques originaux sont très nombreux. Il est important aussi de souligner que les micromorphologues tentent de *donner aux créations lexicales une grande souplesse d'emploi*. Ceci doit faciliter la prise en compte des *juxtapositions et intergrades* dont la fréquence est une caractéristique fondamentale des matériaux du sol. Le vocabulaire cherche ainsi manifestement à s'adapter à une situation particulière. Par exemple, pour décrire les différenciations plasmiques, BREWER a choisi des radicaux très courts pouvant s'associer entre eux. Il peut décrire des assemblages :

ma-squel-insépique, squel-ma-vo-insépique, vo-squel-mosépique, etc.

Mieux encore, STOOPS et JONGERIUS ont prévu systématiquement l'association de leurs termes. Les assemblages fondamentaux sont dénommés, dans l'orthographe anglaise :

« monic », « gefuric », « chitonic », « enaulic », « porphyric ».

(*) Les « traits laminaires » (Stries, raies, lamelles) ont été définis par GAVAUD (M.) - 1968 - Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger. Essai de systématique régionale. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 6, 3-4, pp. 277-307.

(**) Les microstructures « mullicoles », « foliques », « humiskeles », « argillocoles », etc., ont été décrites et dénommées par BARRATT (B. C.) - 1969 - A revised classification and nomenclature of microscopic soil materials with particular reference to organic components. Geoderma, 2, pp. 257-271.

Les intergrades ayant une phase dominante peuvent s'écrire sur le mode de « chito-gefuric », alors que si les deux phases sont équivalentes elles s'écriront « chitonic-gefuric ». Les tailles des éléments constitutifs sont indiquées par des éléments lexicaux à plusieurs radicaux possibles :

« psef-, psefi-, psefitic », « psam-, psammi-, psammitic », « sil-, sili-, silt », « pel-, peli-, pelitic ».

La nature des matériaux est annoncée par des radicaux facilement reconnaissables, tels que :

« phyto- », « humo- », « calco- », « sesquo- », etc.

En assemblant tous ces éléments, STOOPS et JONGERIUS parviennent à des *énoncés très synthétiques*. Ils parlerons par exemple de « chitonic and gefuric sili/calcipel », de « porphyro-chito-enaulic psammi/sideropel », etc.

Groupes lexicaux divers

Parmi les groupes lexicaux spécialisés de la science du sol, nous avons présenté ce qui nous a paru le plus important ou le plus significatif en matière de description élémentaire, de typologie générale, de micromorphologie. Cette analyse reste très incomplète. Aussi donnerons-nous *un dernier exemple*, pour rappeler ces parties du lexique qui n'entrent pas dans les rubriques précédentes. Cet exemple est fourni par S. A. WILDE (*). Il ne s'applique pas à des profils pédologiques complets, mais uniquement à des matériaux contenant de la matière organique. C'est pour cette raison qu'il n'a pas été mentionné dans la typologie générale.

Le système proposé par l'auteur est construit sur des principes déjà souvent rencontrés dans les pages précédentes. D'une part, l'entité pédologique de référence est *l'horizon*. D'autre part, les termes employés sont des *néologismes* savants. Les définitions sont données comme des orthotypes, sans limites tranchées. Les intergrades peuvent être désignés par l'accolement de deux mots. Voici les principaux termes relevés dans le texte de WILDE :

Endorganic layers : cryptol - parvital - vermiol - rhizol - sapronel
Ectorganic layers : velor - leptor - lentar - crustar - uliginor
Amphimorphic layers : velorm - leptorm - uliginorm.

Le lecteur remarquera que la dernière lettre des noms des horizons indique à quel groupe ils appartiennent.

CONCLUSION

Depuis ses débuts, la science du sol a renouvelé bien des fois ses techniques. Plusieurs appareillages successivement apparus, spectographe X, microscope électronique à transmission, stéréoscan, microsonde électronique, sont venus bouleverser l'étude des argiles et de leurs agencements, en quelques dizaines d'années seulement. Ces nouveautés ont été accueillies sans difficulté, semble-t-il. Mais c'est par contre *avec des grandes réticences et très tardivement que les pédologues en sont venus à prendre le langage et plus précisément le lexique comme un objet de travail.* Certains d'entre eux ont reconnu dans leur discipline cet « hypnotic effect of words » (**). Il a fallu attendre l'année 1960 pour voir apparaître la première typologie et le premier vocabulaire

(*) WILDE (S. A.) - 1971 - Forest humus : its classification on a genetic basis. *Soil Science*, 111, 1, pp. 1-12.
(**) WILDE (S. A.) - 1953 - Soil science and semantics. *J. Soil Sci.*, 4, 1, pp. 1-4.

de portée générale. Celui-ci ne comportait d'ailleurs qu'un nombre réduit d'unités lexicales (*). Ce n'est qu'en 1964 que la micromorphologie des sols a livré un ensemble terminologique cohérent. A l'heure actuelle, *la pédologie française hésite toujours à créer ou à adopter un système typologique avec son bagage lexical.* C'est pourquoi nous avons pu soutenir que persiste encore une insuffisance du vocabulaire pédologique.

Il est bien connu que les mots « allitique » et « siallitique » sont des créations de H. HARRASSOWITZ, que l'altération en « pain d'épice » est une découverte de A. LACROIX, que G. F. BECKER est l'inventeur du terme « saprolite » et G. W. ROBINSON celui de « ferrallitique ». L'histoire de la science des sols pourrait multiplier des exemples illustrant le fait que *dans le passé les créations lexicales apparaissaient isolées.* L'invention de nouveaux termes était chose assez banale pour les naturalistes d'autrefois. Elle se pratiquait au gré de l'inspiration de chacun, édifiant des ensembles linguistiques parfois hétérogènes et surabondants. Il n'en est plus ainsi depuis longtemps. A une créativité linguistique communautaire et spontanée se sont substituées des opérations délibérées. Ce sont des *collections terminologiques complètes* que nous voyons actuellement apparaître. Elles sont constituées globalement, sur des bases linguistiques homogènes sinon codifiées très strictement, dans l'intention de couvrir la totalité de secteurs particuliers de la science du sol.

(*) Nous faisons évidemment référence à la 7 th Approximation, mais en séparant bien ce qui est typologique de ce qui est classification. La typologie proprement dite est réalisée par le diagnostic d'un nombre limité d'horizons. La classification utilise un système de nomination à multiples combinaisons. Ce faisant, elle introduit beaucoup de données qui n'ont rien de typologique, et même rien de pédologique, puisqu'elles se rapportent à des critères physico-chimiques et aux climats.

Chapitre six

LE LANGAGE (suite) - PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Le lexique pédologique spécialisé a été présenté, au chapitre précédent, de façon essentiellement statique et rétrospective. Malgré un objectif ainsi limité, et bien que conduite par sondages non exhaustifs, cette présentation a été longue. Il fallait en effet établir une base de travail solide, afin de se dégager de jugements subjectifs qui permettent trop facilement de conclure à la richesse (43) ou à l'insuffisance (24) du vocabulaire. L'analyse peut maintenant adopter *une perspective plus dynamique*, cherchant à identifier toutes les fonctions du lexique, et à définir les règles de son expansion, de son vieillissement, de son renouvellement. Mais dans les textes scientifiques, le lexique spécialisé n'est pas seul. Ne serait-ce que succinctement, il faudra aussi considérer *le lexique d'accompagnement*. Il se peut que celui-ci reste « neutre » et ne joue qu'un rôle d'articulation. Il est possible aussi qu'il exerce une certaine pression, qu'il oriente les jugements du lecteur, en se faisant l'interprète plus ou moins avoué d'options épistémologiques particulières.

Il est apparu lors d'une première enquête (24, 27) sur les moyens d'expression de la pédologie, qu'un vocabulaire depuis trop longtemps établi et qui s'est usé, exerce une action en retour sur la collecte ou plus exactement sur la sélection des faits. Plusieurs épisodes de l'étude des sols tropicaux en ont témoigné. Aussi partielle soit-elle, cette remarque suffit à *lier à son vocabulaire l'objectivité présumée de l'observateur*. Elle rappelle que la science du sol reste dépendante d'une problématique générale de la connaissance et en premier lieu des relations du langage et de la pensée. Ces questions fondamentales doivent servir d'arrière-plan à nos propres discussions. L'étude du sol ne constitue certainement pas un lieu privilégié pour traiter les rapports langage-pensée dans une perspective fondamentale. N'apportant rien de nouveau à l'épistémologie générale, nous demanderons au contraire à celle-ci de justifier et de valoriser notre approche. Une anecdote servira à attirer l'attention du lecteur, et à le renvoyer peut-être vers de plus vastes réflexions.

Certains mots de la plus grande banalité, qui paraissent épistémologiquement tout à fait neutres, peuvent masquer de véritables pièges pour le raisonnement. Les esprits peu avertis ne sont pas seuls à s'y laisser prendre. C'est ce qu'a prétendu montrer B. RUSSELL (83) à propos du verbe « être » et de l'usage qui en est fait dans la philosophie hégelienne. RUSSELL rappelle que le verbe être couvre deux fonctions logiques différentes. Il faut distinguer le « est » de la proposition prédicative (nous dirons par exemple « Socrate est mortel », ou pour nous rapprocher de la pédologie « le calcaire est soluble »), du « est » d'identité (par exemple « Socrate est cet homme qui... » ou « la montmorillonite est cette argile qui... »). Toute la philosophie de F. HEGEL repose, pour RUSSELL, sur une confusion entre ces deux fonctions, de prédicat et d'identité. « Voilà un exemple comme, faute de soin au point de départ, on construit de vastes et imposants systèmes philosophiques sur des confusions misérables et grossières, que

l'on serait tenté d'appeler des calembours, n'était le fait presque incroyable que l'intention n'y est pour rien ». Peu importe que nous suivions ou non B. RUSSELL dans cette condamnation catégorique d'une philosophie pourtant complexe. Ce que nous retiendrons, c'est que l'on puisse lancer un tel débat à propos d'un opérateur linguistique aussi largement usité que le verbe être. Les spécialistes des sols seraient-ils plus attentifs à ces difficultés que les philosophes ? Probablement pas.

L'exemple emprunté à B. RUSSELL ne constitue qu'une illustration de portée limitée. Pour introduire valablement les questions évoquées, il faudrait se référer à de nombreux travaux linguistiques : depuis ce que l'on appelle parfois « l'hypothèse SAPIR-WHORF » (*), première systématisation de l'interdépendance langage-pensée, jusqu'aux recherches contemporaines sur les structures profondes de la langue. Nous laisserons le lecteur s'engager seul sur cette voie, en lui proposant quelques ouvrages de référence (37, 28, 61), et reprendrons maintenant les problèmes posés dans le cadre restreint de la science du sol.

EXAMEN D'UN TEXTE PARTICULIER

Les groupes lexicaux considérés dans les pages précédentes ont été isolés de leurs contextes d'utilisation. Il peut être intéressant aussi d'appréhender le *lexique global* d'un auteur, ou d'une publication, pour y analyser *les rapports des ensembles spécialisés et du vocabulaire d'accompagnement*. Nous essaierons de le faire en prenant pour texte à étudier la thèse de G. BOCQUIER (13). Pourquoi ce choix parmi bien d'autres possibles ? Il s'agit d'un ouvrage récent, qui ne doit donc pas donner une vision périmée du langage. C'est aussi un texte original, en ce sens qu'il ne réalise pas lui-même une sélection des idées ou des mots, comme peuvent le faire un traité, un manuel, ou un dictionnaire. Dans une thèse, l'auteur développe ses idées et s'exprime librement, sans la contrainte de brièveté qu'imposent les articles de revues. Enfin, le travail de G. BOCQUIER peut être considéré comme typiquement pédologique. Il ne se situe pas à la frontière d'une autre discipline.

Un dépouillement *semi-exhaustif du texte* de G. BOCQUIER a fourni *près de* 1 000 *unités lexicales* (**). Les termes n'ayant aucune spécificité sémantique par rapport au sujet traité (notamment verbes et adverbes ubiquistes tels que « avoir », « paraître », « beaucoup », etc.), de même que les noms de personnes ou de lieux, ont été éliminés. Malgré cela, et bien que l'on puisse admettre l'éventualité de quelques oublis, c'est vraisemblablement la presque totalité du vocabulaire qui a été enregistrée. Rappelons que 1 000 unités lexicales représentent un nombre sensiblement plus élevé de « mots ». Il s'agit donc d'un vocabulaire globalement assez riche. Il ne sera pas nécessaire d'énumérer ici tous ses termes, de nombreux exemples de groupes lexicaux scientifiques ayant déjà été donnés. Il suffira d'indiquer la répartition des différents ensembles lexicaux, et de n'entrer dans le détail que de ceux pouvant conduire à des remarques nouvelles.

— un premier groupe peut être constitué avec *les termes spécialisés de disciplines étrangères à la science du sol :*

(*) « A change in our language can change our appreciation of the cosmos » (cité dans 24). Cette simple phrase résume très bien la théorie défendue par E. SAPIR et L. B. WHORF.

(**) Très exactement, ce sont 952 unités lexicales qui ont été retenues.

15 d'entre eux font tout simplement référence aux noms de ces disciplines, c'est par exemple le cas de « bioclimatique » ou de « tectonique ».

51 expriment des données physico-chimiques fondamentales, par exemple « alcalin », « désaturation », « oxydo-réduction ».

60 sont empruntés à la minéralogie et à la géochimie.

14 seulement peuvent être revendiqués par la géomorphologie.

69 termes proviennent de disciplines ou de techniques moins souvent sollicitées que les précédentes, comme « électrophorèse » ou « radiométrie », ou font partie d'un langage scientifique très général, comme « centrifuge », « micron », « taxonomique ».

Au total, ce premier groupe comprend *209 unités, soit 21,9 % de l'ensemble du lexique.*

— un deuxième groupe réunit *les termes pédologiques spécialisés.* Ce sont tout d'abord des mots savants :

62 ont une valeur descriptive très précise. Il s'agit *surtout de termes micromorphologiques*, comme « argilane » ou « isotubule », et de mots comme « solonetz » ou « vertisol » correspondants à de plus larges entités (*).

23 expriment des concepts généraux, comme « pédographie » ou « biogéodynamique », ou proposent une interprétation génétique, comme « allochtone » ou « néoéluviation ».

4 mots composés ont été retenus : « sous-laminaire », « sous-structure », « sur-structure », « transéluvial » (**).

En second lieu il faut mentionner les termes non savants, ou les termes scientifiques tout à fait polyvalents, que la science du sol charge d'une signification particulière :

60 unités lexicales de cette sorte ont été retenues, parmi lesquelles « cuirasse », « profil », « plasma », « sable ».

Au total, le lexique pédologique le plus spécialisé constituant le deuxième groupe comprend 149 *unités lexicales, soit* 15,6 % *de l'ensemble*, avec un peu plus de mots savants (89), grâce au lexique micromorphologique, que de mots d'origine variées (60).

Les deux premiers groupes confirment le diagnostic précédemment établi de façon plus générale, à savoir l'importance de certains emprunts scientifiques et la part relativement réduite des vocables originaux dans le langage habituel de la science du sol.

— avec le troisième groupe, nous allons considérer des termes qui n'appartenaient pour la plupart ni au vocabulaire de base, ni aux groupes spécialisés du chapitre précédent. Certains seulement figurent dans le Glossaire. Il s'agit d'un *vocabulaire descriptif*, se référant surtout à des formes, mais aussi à des couleurs, parfois à des substances ou à des quantités. Ce groupe lexical est très abondant, pratiquement équivalent en nombre au lexique descriptif du Glossaire (en écartant les emprunts faits par celui-ci à d'autres sciences). Il totalise *216 unités lexicales, représentant 22,6 % du vocabulaire.* D'autres textes pédologiques donneraient peut être

(*) Dans le texte de G. Bocquier, la typologie micromorphologique dispose d'un vocabulaire abondant. Par contre la typologie macromorphologique n'apparaît pratiquement pas au niveau du lexique. Elle est essentiellement présentée par les notations A, B, C et leurs symboles complémentaires.

(**) Certains mots composés, comme « auto-développement » ou « micro-barrière » n'ont pas été retenus comme vocables originaux et indépendants. Il semble que ce sont des créations de circonstance, et non des éléments lexicaux stables et permanents.

des résultats comparables. Mais il semble surtout que G. BOCQUIER manifeste une aptitude particulière, ou un goût personnel, pour *un langage descriptif et imagé*. C'est à la variété et à l'expressivité de certains textes littéraires que l'on songe en réunissant tous ces mots.

Pour le lecteur qui s'intéresserait à cette partie du lexique que négligent glossaires et dictionnaires spécialisés, nous transcrirons l'intégralité des termes relevés. La place de certains d'entre eux paraîtra discutable. Ceci est inévitable, puisque nous nous sommes imposé de traiter la totalité du lexique sans pour autant multiplier les rubriques. Voici ce troisième groupe :

Abrupt - adossé - aire - allongé - amas - amorce - amphithéâtre - angle, anguleux - anneau, annulaire - aplati - auréole - bande - barrage - bas - base - blanc, blanchi - bloc - bombement - bosse - boulette - brun - caillou, caillouteux - calotte - canal - carié - cavité - ceinture - centre - cercle - chaîne - ciment, cimenté - cireux - clair - cohésion - coin - coloré - cordon - corps - côté - coupe - couple - courbe - croissant - croûte - crue - cuvette - dalle - débordement - débris - découpage - dédoublement - dépression - dessin, dessiner - diffus, diffusément - dimension - discontinu - discret - dur, dureté - eau - éboulis - écaille - échelle - écran - empreinte - enduit - entier - épais, épaisseur - équateur - équivalent - escalier - esquisser - étroit - extension - externe - face - faible - faisceau - feston - feuilleté - feutrage - figure - fin - fissure, fissuration - flaque - floconneux - fond - fort - fraction - fragment, fragmentaire, fragmentation, fragmenter - frange - friable - gonflant - gradient - gradin - graveleux - gris - grossier - halo - homogène, homogénéité, homogénéisation, homogénéiser - horizontal - image - indentation - inférieur - intérieur - irrégulier - jaune - jaunâtre - jointif - lacunaire - lambeau - lame - langue - latéral - large - limite - limiter - linéaire - lissé - lit, litage, liter - luisant - maille - majeur - mamelonné - manteau - maquette - marbré - marche - masqué - mélange - meuble - microdivisé - milieu - mince - mi-pente - modelé - morceau - moyen - nappe - niveau - nivellement - noir - noyau - nu - oblique - olive - onde - onduler - orangé - pâle - palier - partiel - passée - paysage - pente - percé - perché - périphérique - petit - pied - pierre - plaine - plan - plancher - poche - pont - position - poterie - prisme - proche - profond, profondeur - rectiligne - régulier - repérage - replat - réseau - ressaut - retrait - rose, rosé - rouge - rougeâtre - ruban - semblable - semi-orange - serré - silhouette - sillon - solide - sommet, sommital - sous-jacent - spatial - squammeux - subdivision - superficiel - supérieur - superposer - surface - surplomber - tache, taché, tacheté - taille - teinte - terne - toit - trait - tranché - tube - varié - vasque - veine - ventre - verdâtre - versant - vertical - vide - volume - zébrure - zone, zoné, zonation.

Numériquement, le dernier groupe est le plus important. Il comprend *777 unités lexicales, soit* 39,7 % *de l'ensemble*. Ses différents termes pourraient apparaître dans des textes extrêmement variés. Il s'agit de la partie *la moins spécialisée* du lexique employé par G. BOCQUIER. Faut-il faire l'économie de son examen ? En première approximation, il semblerait plausible qu'elle n'ait guère d'importance par rapport aux significations pédologiques. Les paragraphes suivants tenteront de montrer le contraire. Dès à présent, notons que *l'abondance de ce groupe lexical est elle-même significative*. Le vocabulaire du groupe précédent a montré, par sa variété, une vocation particulière pour les problèmes descriptifs et surtout figuratifs. Ici plus encore, nous rencontrerons une richesse d'expression, un souci de nuancer et de diversifier, qui sont loin d'être gratuits. Pour ne pas trop alourdir notre texte, nous ne présenterons pas toutes les unités lexicales du dernier groupe, nous considèrerons seulement les plus significatives d'entre elles.

UN VOCABULAIRE D'ACCOMPAGNEMENT ANTHROPO-LOGIQUE ET CAUSALISTE

Dans un chapitre antérieur, nous avons rappelé les réflexions épistémologiques et philosophiques qui lient de façon générale les structures de la pensée ou du langage aux modèles causalistes établis par la science. De façon concrète maintenant, et sans prétendre atteindre ce que le problème pourrait avoir de fondamental, nous essaierons de montrer que *la science du sol utilise massivement les schémas et le langage de l'expérience commune*.

A propos des mouvements de matière

Il s'agit d'un *thème essentiel de la pédologie génétique*, et tout particulièrement de la thèse (13) que nous considérons actuellement. Les mouvements de matière, s'ils se produisent effectivement dans les sols, peuvent être analysés puis décrits de diverses manières. Le Glossaire (43) par exemple a dépouillé son langage jusqu'à la plus grande austérité, et nous avons cru devoir souligner la neutralité épistémologique de ses termes descriptifs. Bien qu'il ne présente pas lui-même une étude sur un problème donné, et qu'il ne propose que les moyens de réaliser la première phase du travail scientifique, il peut cependant servir de point de comparaison. Au contraire du dépouillement, c'est *une grande richesse lexicale* que nous aurons maintenant à commenter.

Décrire les mouvements de la matière pédologique, cela peut consister tout simplement à dire si telle substance, si tel composé *existe*, s'il est *présent*, ou *absent*. Un peu plus de précision conduit à indiquer le *compte*, le *nombre*, la *quantité*, la *teneur*, le *pourcentage*. Tout en restant très objectif, il est possible d'apporter quelques nuances de plus en introduisant des termes tels que *rare*, *commun*, *constant*, *développé*, *considérable*, *exclusif*, *exception*, *ségrégation*, *abondance*.

Ces premiers termes ont la neutralité épistémologique de bons vocables descriptifs, mais ce ne sont pas les seuls utilisés dans le texte de G. BOCQUIER. Lorsque l'auteur dit d'un corps pédologique qu'il est *riche* ou *pauvre*, bien ou mal *pourvu*, il est évident qu'il propose, en plus de la description d'un état de fait, une interprétation assortie d'un certain anthropomorphisme. Chacun sait que l'on peut passer de la richesse à la pauvreté, et inversement. Admettons-le pour les sols également. Nous conviendrons alors volontiers que la matière pédologique puisse être l'objet d'une *accumulation*, d'une *concentration*, ou d'une *augmentation*, d'un *apport*, d'un *dépôt*. En d'autres termes, nous dirons qu'elle peut être l'objet d'une *acquisition*, d'une *réception*, et peut-être d'une *incorporation* ou d'une *pénétration*. Une vision plus dynamique encore fera *apparaître*, *croître*, ou *densifier* cette matière qui pourra aussi *s'ajouter*, se *cumuler*, *s'adjoindre*, ou plus statiquement se *conserver*. Il faudra reconnaître aussi qu'il peut y avoir une *fixation*, une *immobilisation*, une *rétention*, une *persistance* de certaines substances. Veut-on maintenant présenter les mouvements négatifs de la matière, les moyens d'expression ne font pas non plus défaut. A côté du *résidu* ou de la *réserve*, de ce qui peut *subsister*, de ce qui peut *rester* ou même se *récupérer*, il faudra distinguer ce qui va se *raréfier*, *s'exporter*, se *perdre* et *disparaître*. Nous reconnaîtrons aussi la *mobilisation*, la *séparation*, le *mouvement* de certains éléments du sol. Si d'autres termes sont nécessaires, pour imposer plus de nuances, nous aurons le choix entre le *départ*, la *déficience*, la *disparition*, l'*élimination*, l'*entraînement*, l'*évacuation*, l'*extraction*, la *translation*, le *transport*, la *ventilation* ou la *redistribution*. Le vocabulaire utilisable pour décrire les mouvements de matière n'est pas épuisé. Plus proches encore de l'anthropomorphisme, certains termes sont pourtant adaptés au contexte pédologique. Les sols peuvent *adopter*, *emprunter*, *héberger*. Ils connaissent la *libération*, la *migration* et le *transit*, le *piégeage* aussi. Ils pratiquent l'*emmagasinement*, pour *amenuiser* ou *minimiser* peut-être des pertes qui les rendraient *déficients*.

Voilà donc, pour présenter les mouvements de la matière pédologique, un vocabulaire étoffé. Les 17 premiers termes mentionnés composent un lexique assez neutre, mais les 57 qui suivent parlent un langage plein de nuances, de suggestions, et de couleurs. Pour rendre un compte exact de la valeur expressive de ce dernier ensemble, il faudrait faire apparaître tous les dérivés entrant dans ces unités lexicales. En effet, nous ne rencontrons pas seulement dans le texte de G. BOCQUIER le mot « riche » mais aussi « enrichi » et « enrichissement », non seulement le mot « mobilisation » que nous avons cité plus haut, mais aussi « mobile » et « mobilisé », et ainsi de suite. Les dérivés introduisent sans doute quelques nuances supplémentaires. Ils permettent surtout de répéter dans le texte, de façon moins apparente et par conséquent moins lassante, les mêmes unités signifiantes.

Les expressions de l'anthropocentrisme

Les Sciences de la Terre pratiquent à l'occasion un anthropomorphisme peu recommandable. A. REYNAUD (80) par exemple a pu reprocher à plusieurs géomorphologues contemporains d'envisager la « jeunesse » ou la « vieillesse » des reliefs, et plus encore de décrire l'érosion par ses « morsures ». Des expressions comparables sont fréquentes chez les anciens auteurs (25) de la science du sol, ceux de langue anglaise notamment. Ils ont proposé de reconnaître suivant leur âge plusieurs catégories de sols, « mature - immature », ou « adolescent - juvénile - sénile », ou « initial - juvénile - viril - sénile - final ». Certains sols ont même été dits « senescent ». Pour beaucoup de pédologues encore, *les sols naissent et meurent* (*).

L'anthropomorphisme le plus naïf, rencontré dans les anciens textes pédologiques, n'a plus cours. Chez les auteurs contemporains néanmoins, *un anthropocentrisme plus subtil* que le précédent subsiste encore. Nous en rechercherons la trace dans le vocabulaire, en nous servant toujours du texte de G. BOCQUIER.

Lorsqu'il faut prendre en compte le temps pédologique, il est bien difficile d'éviter tout recours à des mots évocateurs de la vie humaine. Un sol a un *âge*, il est *jeune*, *récent*, ou *ancien*. Ces quelques termes ne semblent pas gênants, les pédologues étant maintenant bien dégagés du finalisme de leurs prédécesseurs. L'anthropocentrisme qui garde de l'importance est moins apparent, il est plus diffus dans le texte. Nous le situerons dans une manière particulière de reconnaître des qualités et d'établir des rapports, à l'image des qualités et des rapports humains. C'est ainsi que l'on retrouve dans le monde des sols l'*aggressivité* et l'*opposition*, que l'on y discerne des *contraintes*, voire des *attaques*, et jusqu'à des événements *catastrophiques*. Le sol, semble-t-il, peut *permettre* ou *interdire*, dans l'un ou l'autre des processus qui le caractérisent il a la possibilité de *provoquer*, d'*imposer*, ou de *contrarier*. Les divers corps pédologiques s'*individualisent*, ils peuvent même se *nourrir*, et *croître* bien entendu. Ils ont un *comportement*, des caractères plus ou moins *accusés*, et ils peuvent *témoigner*. Le pédologue a pour mission de retrouver dans le sol ce qui est significatif, ce qui est *ordonné* ou *organisé*, ce qui correspond à une nécessité, ce qui apparaît *subsidiaire*, *subordonné*, ou *préférentiel*. Parmi les processus pédologiques, il en est qui sont *aisés* et *décisifs*, et d'autres que l'on trouve *satisfaisants*. Le vocabulaire fait aussi intervenir (est-ce à propos du processus de recherche, ou à propos des phénomènes naturels ?) des actions typiquement humaines, telles que *requérir*, *réitérer*, *révéler*, *pressentir*, *controverser*.

L'anthropocentrisme discernable dans le vocabulaire présente donc des nuances variées. Nous avons trouvé des références à une « vie » comparable à celle de l'homme, et des expressions habituellement attachées à des qualités ou à des actions humaines. De même que précédemment pour les mouvements de matière, un choix limité a été présenté : une centaine d'unités lexicales au total. Cela représente à peine le tiers des termes (dernier groupe constitué avec le vocabulaire de G. BOCQUIER) sans spécialisation, et qui sont *tous plus ou moins clairement anthropocentriques ou évocateurs de la vie quotidienne*.

Conclusion

Une analyse sémantique mettrait en évidence, attachée aux mots précédemment cités, une multitude d'*images* et d'*associations conceptuelles* (**). Le vocabulaire pèse sur le jugement du lecteur non seulement en raison de ses significations les plus directes,

(*) Les sols ont été si souvent considérés comme « créatures vivantes » que, en 1963 encore, G. AUBERT a trouvé nécessaire de rappeler qu'ils ne descendent pas les uns des autres et qu'il n'y a pas entre eux de filiations véritables (G. MONNIER, *op. cit.*).

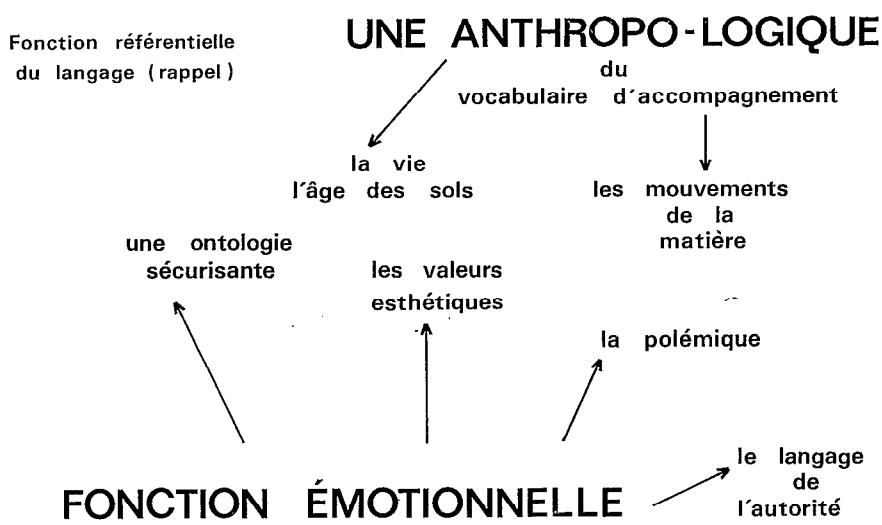
(**) Les liaisons sémantiques internes du langage ont été décrites par les linguistes sous différents termes, « paradigme », « constellation associative », « réseau associatif », « champ notionnel », « champ morpho-sémantique ». Pour la distinction de l'image et du concept, le lecteur se réfèrera particulièrement à G. BACHELARD.

mais aussi de tout le poids de ses réminiscences occultes. Il se crée ainsi un « climat », qui peut induire une orientation épistémologique. Dans le cas qui nous occupe, une rapide réflexion suffit à montrer que *le vocabulaire d'accompagnement fait appel aux expériences de la vie quotidienne*, et plus particulièrement aux différentes formes qu'y prennent le *déterminisme* des événements, et le *mouvement* des êtres et des choses. La logique pour laquelle il possède une aptitude directe est une anthropo-logique, faite d'attributs qualitatifs et de schémas causalistes simples. A propos des sols pris comme objets scientifiques et dans la relation des faits communs, apparaissent souvent les mêmes concepts, les mêmes images, les mêmes mots.

Le vocabulaire peut paraître alors former le support d'une certaine épistémologie. Pour tous les mouvements de la matière pédologique par exemple, des moyens d'expression nombreux et nuancés sont apparus disponibles. Mais plutôt qu'une adaptation du langage constatée *a posteriori*, il faut se demander dans quelle mesure il ne s'agit pas ici d'une transposition de schémas anthropo-logiques dans un nouveau champ sémantique. Ces schémas en tout cas correspondent très bien à ce qui constitue la *pensée génétique* de la science du sol. Celle-ci n'a pas retrouvé un lexique à sa convenance, elle s'est constituée avec lui. Il est significatif de rencontrer dans un ouvrage d'esprit génétique aussi marqué que celui de G. BOCQUIER (*) une telle complaisance pour un vocabulaire d'accompagnement diversifié et évocateur. Celui-ci est nécessairement *inséré en profondeur dans la trame discursive*. Il est trop abondant pour n'intervenir qu'à quelques moments du texte, par exemple lorsque, les faits étant exposés, l'auteur prend enfin la liberté de commenter et de conclure. Une pression permanente est exercée par le vocabulaire en faveur de certains types d'interprétations.

Ces perturbations introduites dans les pratiques scientifiques se trouvent facilement confirmées par une épistémologie plus générale que la nôtre. Le « relent anthropomorphique de la notion de cause » par exemple, et d'une façon plus générale toute la « métaphysique naïve immanente au langage » sont dénoncés par J. PARAIN-VIAL (75).

TABLEAU 14



(*) A propos du caractère génétique du travail de G. BOCQUIER, voir les chapitres 4 et 7.

LA FONCTION ÉMOTIONNELLE ET ESTHÉTISANTE

Le langage d'une façon générale, et même celui des hommes de science, n'a pas uniquement des *fonctions référentielles*. Il n'assure pas la circulation des informations sans sortir parfois d'une pleine neutralité et d'une parfaite objectivité. Les mots prennent alors des *valeurs émotionnelles et esthétisantes* diversement ressenties suivant la réceptivité des locuteurs. Ceux-ci ne changent pas leur humaine nature dès lors qu'ils se mettent au travail. Même sous des formes très abstraites, n'importe quelle découverte, toute théorie nouvelle, sont génératrices d'émotion. Le langage a le pouvoir de susciter ou d'amplifier les réactions émotives. Le vocabulaire employé en science du sol, nous l'avons vu, comprend des mots qui parlent d'eux-mêmes à l'imagination. Nous verrons maintenant que certains spécialistes du sol ne s'en tiennent pas là, et qu'ils débordent largement cette imagerie première encore assez discrète.

Les réactions émotives qui nous intéressent ne se superposent pas, est-il besoin de le dire, à celles de la vie courante ou du domaine artistique. Dans le champ sémantique qui est le leur, les pédologues se sensibilisent à des situations originales. Pour une *période plus ancienne* que la nôtre, il est probable que nous aurions relevé tout *ce qui proclamait la constitution d'une science véritable*. Mais actuellement, il est devenu si commun de parler de *genèse*, de *processus*, d'*évolution*, de *mécanisme*, de *corps organisé*, que ces différentes formules n'émeuvent plus personne lorsqu'elles sont considérées dans leur signification générale. Il faut entrer maintenant plus profondément dans les énoncés pédologiques pour stimuler notre sensibilité.

Certaines formules apparaissent très belles dans leur sobriété, pour des esprits attachés à la rigueur tout au moins. C'est le cas nous semble-t-il pour les *accumulations relatives* et pour les *accumulations absolues* inventées par J. D'HOORE *(op. cit.)*. La symétrie des termes est agréable, le relatif et l'absolu peuvent plaire au scientifique tout autant qu'au philosophe. Ces deux expressions malgré tout sont austères. G. MILLOT (*) a trouvé plus évocateur en distinguant une *évolution par soustraction en milieu lessivant* et une *évolution par addition en milieu confinant*. Plus longues, ces nouvelles formules donnent d'autres occasions au travail de l'imagination. Elles apparaissent d'ailleurs légèrement redondantes, si l'on considère les couples soustraction-lessivant et addition-confinant. Mais c'est justement le redoublement des termes qui suggère, et qui fait sentir son autorité. Qui songerait à douter de l'évolution par soustraction, si elle se produit en milieu lessivant ? Beaucoup de termes provenant comme ceux-ci d'un langage tout à fait courant ont fait fortune dans le parler des spécialistes du sol. A côté du lessivage et du confinement, de l'addition et de la soustraction, G. MILLOT a imposé l'*héritage* et la *transformation* des argiles. Ces termes si familiers ont peut-être des vertus rassurantes. Dans l'incitation imaginative, G. BOCQUIER (13) va encore plus loin. Le récit met en scène maintenant la *migration de la matière*, la *dynamique remontante de la matière*, l'*invasion remontante des argiles*. Il faut un obstacle pour que cette poussée de la matière pédologique puisse être contenue. Ce ne peut être un obstacle quelconque, mais une *barrière géochimique*. A moins que la Nature n'use de plus de subtilité, et qu'elle ne constitue un *filtre géochimique* ou même un *piège biogéochimique*. Il est inutile que nous recherchions toutes les images et toutes les émotions qui peuvent s'attacher à de telles expressions. Inutile aussi de recenser tous les termes para-

(*) MILLOT (G.) - 1964 - Géologie des argiles. Masson, 499 p.

scientifiques qui pourraient prendre la place de la barrière ou du piège. Dans un discours scientifique concernant les sols, il est incontestable qu'un certain lyrisme est possible.

Nous avons dit plus haut l'usure relative de termes comme processus, phénomène, évolution. Ils sont relayés par les mots dynamisme ou dynamique, car l'idée générale qu'ils représentent tous à quelques nuances près reste vivante. Il est maintenant beaucoup question de *dynamique actuelle* en pédologie. Avec son sens des mots forts, G. BOCQUIER nous a proposé, dans l'ordre du dynamisme, quelques belles formules. On rencontre effectivement dans son texte des expressions comme *dynamique générale de la matière*, ou comme (cf. citation précédente) dynamique remontante de la matière. Ceci nous amène à des expressions scientifiques complexes, dans lesquelles toute une théorie est incluse. Lorsqu'à l'intérêt de celle-ci s'ajoute la qualité de l'expression, la valeur émotionnelle est certaine. La réussite de H. ERHART *(op. cit.)* a été complète sur les deux plans lorsqu'il a présenté la *genèse des sols en tant que phénomène géologique*. Son ouvrage contient bien d'autres effets stylistiques. Avec leur aspect ésotérique, *biostasie* et *rhexistasie* ont plu. Et lorsque l'auteur traite du *rôle géochimique de la forêt tropicale et de son rôle de filtre-séparateur*, il associe suffisamment de mots évocateurs pour soutenir l'intérêt conceptuel de son idée par un stimulis émotionnel.

Il existe enfin des cas où l'auteur charge son texte d'un effet émotionnel délibéré. Il parle alors le *langage de l'autorité* ou de la *polémique*. Nous chercherons quelques illustrations à ce propos dans l'ouvrage de G. MILLOT *(op. cit.)*. La langue française permet d'exprimer de la façon la plus simple des affirmations très fortes. Chacun doit ressentir la puissance que prennent des tournures telles que « ceci est » ou « ceci n'est pas » dans certaines situations. Ces ressources du style sont souvent employées par G. MILLOT, lorsqu'il écrit par exemple « cette dynamique des solutions *est* le moteur... », ou « les transformations principales *sont* les suivantes ». Un style affirmatif est banal. Mais il arrive aussi que l'auteur mette en jeu sa personnalité. Lorsqu'il ajoute « je conclus comme il y a quatorze ans », ce sont une carrière scientifique et une réputation qui sont impliquées. La polémique se fait parfois plus dure encore. En lui parlant de « mythes » ou d'« erreurs », il est évident que l'on pèse lourdement sur le jugement du lecteur. « Si les prémisses et les conclusions sont *exactes*, puisqu'elles sont observées dans la nature, le raisonnement est *faux*. Il est fondé sur deux *erreurs* ». Quant au « *mythe* de la kaolinisation des feldspaths », nul doute qu'il ait fortement marqué tous les lecteurs de la « Géologie des Argiles ». Il est heureux que la science se renouvelle, et que par conséquent elle réfute. Mais c'est uniquement le langage que nous considérons ici, en appréciant la force polémique des mots sans juger la cause desservie. Un autre bon polémiste est H. ERHART (*). C'est justement à G. MILLOT qu'il s'en prend en ces termes, mettant lui aussi sa personnalité en jeu, et ne refusant pas les mots forts : « *j'avoue ne pas comprendre* comment une conclusion aussi *tranchée* et *outrancière* a pu être tirée par l'auteur ».

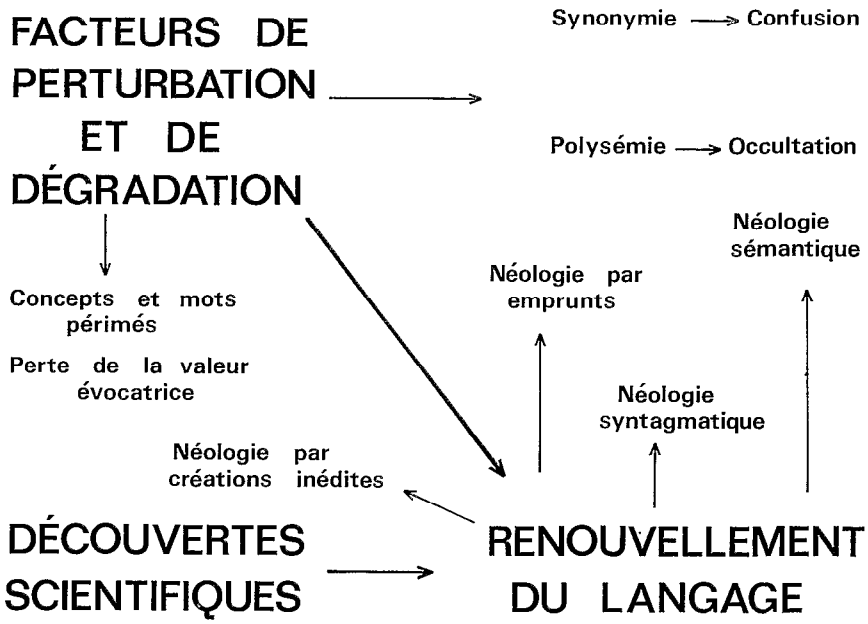
Il y a donc des *valeurs quasi poétiques*, recherchées plus ou moins consciemment, dans le langage des sciences de la terre. Il y a aussi des *actes d'autorité* que les figures du style s'emploient à imposer. Si l'on veut bien peser soigneusement chaque mot, c'est à la fois une valorisation poétique et un acte autoritaire que l'on trouvera dans cette belle formule de clôture d'un chapitre de G. MILLOT : « *Tel est l'enseignement de la Nature* ».

(*) ERHART (H.) - 1971 - Itinéraires géochimiques et cycle géologique du silicium. Doin, 217 p.

LA DYNAMIQUE DU LANGAGE

Le langage évolue avec la société ou avec la science dont il constitue le moyen d'expression, sur un rythme qui n'est pas seulement séculaire. A l'époque contemporaine surtout, de courtes périodes suffisent à réaliser des changements importants. Ainsi a-t-on pu estimer (35) que le « vocabulaire d'usage » du français s'est renouvelé pour près de 25 % entre 1949 et 1960, non seulement par l'apparition de nouveaux mots, mais aussi par la modification des significations. En ce qui concerne les sciences, il est devenu commun de rappeler que 90 % au moins des « savants » que peut compter l'humanité sont actuellement vivants et en activité. Ils ne peuvent se satisfaire du lexique de leurs prédécesseurs. Scientifique ou non, un langage qui n'évolue pas est bien près de ce que l'on appelle une « langue morte ». Il faut espérer que la science du sol elle aussi se donne, par son langage, les moyens d'assimiler ses propres découvertes.

TABLEAU 15



Synonymie, polysémie et vieillissement

Les langues naturelles (par opposition aux langages artificiels logico-mathématiques et à ceux des ordinateurs) ne se caractérisent généralement pas par leur limpidité. Les mots du langage courant sont « notoirement vagues et ambigus » (51), et l'on peut rapporter « des plaintes immémoriales sur l'imperfection et l'inexactitude du langage qui sont à la source de tant d'erreurs de notre connaissance » (87). Les linguistes eux-mêmes ne sont pas parvenus à maîtriser la situation dans leur propre discipline qui « souffre d'une terminologie confuse, à l'usage flottant » (*) et

(*) LYONS (J.) - 1971 - Chomsky. Seghers, 183 p.

dans laquelle les « inconséquences » (46) ne manquent pas. Les principales difficultés sont partout les mêmes, et il n'y a pas à s'étonner de les retrouver à propos du langage pédologique. Le cas idéal de la *monosémie*, dans lequel un seul signifiant (mot) serait attaché à un signifié (concept) unique et bien défini, reste exceptionnel. Le langage prend plus facilement l'apparence d'un *enchevêtrement des mots et des sens*, ou même d'un chaos.

C'est ce dernier terme qu'ont employé certains pédologues. Voici ce qu'écrit S. A. WILDE *(op. cit.)* : « ... almost every expression of international use has now two or more meanings and the same form is known under several names... One of the foremost students of humus, S. A. WAKSMAN, characterized the existing humus terminology by a single word - chaos. » Bien qu'elles ne concernent que la matière organique et les horizons correspondants, les remarques de WAKSMAN et WILDE peuvent être étendues à beaucoup de domaines de la pédologie.

Les cas où la *synonymie* est la plus rapidement détectée sont ceux où plusieurs mots savants expriment des concepts très généraux, ou désignent des entités ou des corps pédologiques majeurs. Il est facile par exemple de rapprocher le « profil » autrefois défini par DOKUCHAEV, le « solum » de C. F. SHAW (25) et des Soil Survey Manuals américains, et même d'autres termes moins connus comme le « tessera » de H. JENNY (57), le « pédounit » de E. A. FITZPATRICK *(op. cit.)*, ou l'« apexol » et l'« infrasol » (27). Tout aussi facilement seront réunis les « sols latéritiques », les « sols ferrallitiques », les « kaolisols », les « latosols », les « oxisols ». Dans les cas de *synonymie véritable*, les différents termes sont strictement équivalents. Ainsi les « illites » définies à la suite des auteurs américains et les « hydromicas » des auteurs soviétiques sont de mêmes minéraux. Beaucoup plus souvent, *le recouvrement sémantique est imparfait.* Il en est ainsi pour tous les termes précédents, qui ne sont pas strictement équivalents les uns des autres. C'est d'ailleurs très souvent afin de décaler volontairement les significations que beaucoup d'auteurs ont recours à de pseudo-synonymes. A la limite, il ne subsiste plus vraiment d'équivalence entre les différentes propositions. Dans un même champ sémantique recevant plusieurs découpages et plusieurs dénominations, un travail de corrélation, souvent ardu, devient nécessaire. C'est ce qui se passe par exemple pour les systèmes typologiques. A ce moment-là, il n'est plus question de synonymie.

Plus fréquents sans doute et malheureusement *plus difficiles à identifier* sont les synonymes (mots indépendants ou expressions complexes) utilisant des termes ubiquistes spécialisés dans le cadre de la science du sol. Les pédologues ont appris à se méfier des termes plus ou moins équivalents, comme par exemple « pisolithe », « nodule », « gravillon », « gravat », « gravier ». Mais pour des organisations pédologiques ou pour des corps individualisés *moins clairement dénommés*, le phénomène de synonymie peut passer *complètement inaperçu.* Une simple réflexion sur les états structuraux du sol le montrera. Le vocabulaire de la description élémentaire propose un certain nombre de figures de base (polyèdres, prismes, cubes, etc.). Mais les types structuraux purs, comme dans le cas de certains vertisols, sont rares. Beaucoup plus souvent composites, des assemblages structuraux ont pu être vus et décrits des centaines et voire des milliers de fois sans vraiment figurer parmi les connaissances bien établies. Sauf erreur de notre part, un seul système typologique (27) fait place à des diagnostics structuraux clairement identifiés et dénommés, même si toutes les précisions souhaitables ne peuvent encore être inscrites. En établissant parmi ces diagnostics celui des sols ferrallitiques « aliatiques » il est apparu que ceux-ci avaient déjà été étudiés de multiples fois. Dans les meilleurs des cas, c'est-à-dire lorsqu'elle avait reçu un qualificatif global, leur structure a été dite « poudreuse », « farineuse », « fondue », « dégradée », « particulaire », « granulaire fine », etc. Quant aux autres types structuraux, la synonymie à laquelle ils ont donné lieu est encore plus dilatoire. Faite de longues descriptions d'assemblages fragmentaires ou continus, nets ou flous, etc., elle est tout

simplement *devenue insaisissable*. Ceci vaut pour d'autres cas. La prolifération des synonymes, surtout lorsqu'il s'agit de mots non savants qui retiennent peu l'attention, a *un effet d'occultation*. Des caractères importants restent ignorés des spécialistes, à un niveau collectif, alors que, individuellement, les observateurs les perçoivent correctement lors de la collecte des faits.

L'attribution de plusieurs sens à un même vocable définit *la polysémie*. Elle est fréquente en science du sol. Dans les cas les plus simples, il s'agit d'un mot ayant deux significations bien distinctes, le contexte suffisant à préciser clairement celle dont il s'agit. Ainsi « argile » peut désigner soit une fraction granulométrique, soit certaines espèces minérales, sans que cela constitue un inconvénient sérieux. La polysémie devient plus redoutable quand les significations qu'elle implique *sont apparentées*, et lorsque différents auteurs les emploient *simultanément*. C'est ce genre de polysémie qui est à l'origine des plus beaux sujets de confusion de la science du sol. Pendant plus d'un siècle, « latérite » a été source d'incompréhensions et de querelles (25). Par exemple, certains auteurs ont soutenu que la latérite se forme exclusivement sous forêt, alors que d'autres la prenaient pour une formation typique de savane. Il ne s'agissait en réalité que d'un problème de langage. Toutes les tentatives de réduction du fait polysémique, et de retour à une monosémie supposée primitive, sont restées vaines. Le mot « latérite » et ses dérivés sont maintenant abandonnés par la plupart des pédologues. Les mots « podzol » et « podzolique » sont apparus dans la terminologie scientifique plus tard que « latérite », mais la polysémie qui leur est attachée dure encore. Rappelons après S. A. WILDE *(op. cit.)* que la podzolisation consiste pour certains auteurs en une destruction des silicates avec résidu d'apparence cendreuse, alors que pour d'autres elle peut se limiter à un simple lessivage. Avec la multitude de ses dérivés (« ocre podzolique », « faiblement podzolique », « brun podzolique », « podzolized lateritic », etc.), la valeur sémantique du mot podzol devient assez confuse.

Lorsqu'elle est définie en termes opérationnels clairs, la signification d'un terme donné peut être facilement respectée. La polysémie est alors évitée. S'ils pratiquent les mêmes protocoles analytiques, différents auteurs auront la même conception des « bases échangeables » ou du « fer libre ». Par contre l'utilisation répétée de concepts plus généraux, ou d'entités abstraites, se fait rarement sans altération du sens. Dans une même école pédologique déjà, il est difficile d'appliquer de façon reproductible les définitions typologiques ou celles des unités taxonomiques. Plus encore, *le phénomène polysémique est favorisé par les transpositions* entre spécialistes de différentes écoles. Par exemple, certains pédologues français ont adopté le terme « ferrisol » dans une acception sensiblement différente de celle qui lui avait été donnée par ses créateurs (voir 24). C'est de la même manière, mais à une plus vaste échelle puisqu'il s'est trouvé finalement appliqué dans la plupart des zones climatiques, que le mot « podzol » a donné lieu à une remarquable polysémie.

Il nous faut enfin mentionner le vieillissement, *l'usure du lexique*. Si les concepts se renouvellent, il est normal que les mots en fassent autant, dans une certaine mesure tout au moins. Nous avons déjà noté l'affaiblissement des premiers maîtres-mots de la pensée génétique. « Genèse », « évolution », « processus », sont toujours employés, mais on leur préfère souvent de nouvelles expressions. L'usure manifestée ici ne se situe encore qu'au niveau du pouvoir suggestif, et de l'attraction ressentie par les locuteurs. Les concepts eux-mêmes et avec eux le vocabulaire sont plus profondément atteints par exemple dans le cas des notions autrefois prépondérantes de la chimie des colloïdes. On parle peu actuellement du « pH de floculation » ou du « point isoélectrique », et plus du tout semble-t-il de « peptisation », de « pectisation », de « coagulation » des argiles. Les *abandons* sont plus fréquents encore parmi le vocabulaire de caractérisation générale des sols. « Lehm » et « erdre » des auteurs de langue allemande ne s'emploient plus. Les termes « plastosol », « pédocal », « pédalfer », sont périmés. De nouveaux termes ont pris la place autrefois tenue par « tirs », « régur », « smonitza ».

La synonymie et plus encore la polysémie et le vieillissement des mots apparaissent comme les principaux *facteurs de perturbation et de dégradation du langage*. Ce sont, en d'autres termes, des facteurs d'*évolution négative*.

La néologie A ces facteurs régressifs de l'évolution du lexique doivent faire face de nouveaux mécanismes. Ceux-ci compenseront ce que le langage perd par ailleurs et lui permettront de suivre l'accroissement des connaissances positives et le renouvellement des concepts explicatifs. Ces nouveaux processus constituent la *néologie*. « Il n'est question depuis quelque temps que de néologie et de créativité » (86). C'est en effet une véritable explosion du langage qui se produit dans la société contemporaine en général, et non seulement dans les disciplines scientifiques. La néologie que l'on voit à l'œuvre dans la science du sol, ou que l'on peut recommander pour elle, ne manquera pas d'éléments de comparaison.

Schématiquement, la néologie doit intervenir dans la science du sol en deux sortes d'occasion. Tout d'abord lorsqu'il y a *découverte* d'un fait ou *création* d'un concept nouveau. Les inventions véritables ne se produisant habituellement pas en très grand nombre, on voit alors apparaître isolément un ou quelques néologismes. Il arrive aussi qu'un champ sémantique assez large reçoive une terminologie nouvelle complète, parce que les connaissances se sont affinées et que les difficultés lexicales antérieures deviennent intolérables. C'est une *restructuration des connaissances* qui est alors réalisée. En elle-même, une véritable restructuration possède une certaine valeur de nouveauté. Cela a été bien ressenti par exemple dans le cas de la 7 th Approximation qui a été prise pour une œuvre originale alors que, au niveau le plus élémentaire, elle groupait des faits de terrain et de laboratoire assez banals. Nous verrons plus loin la valeur heuristique de telles structurations du savoir. Incontestablement, c'est en cette deuxième sorte d'occasion que nous avons rencontré, en matière de langage, le plus d'activité créatrice. La science du sol a favorisé ces démarches récurrentes. Elle est restée en effet linguistiquement stérile pendant de longues périodes, créant ainsi des situations de crise. Tout cela a déjà été commenté au chapitre précédent.

Quelles peuvent être *les qualités d'un bon langage scientifique ?* Les linguistes se prononcent assez facilement à ce sujet, en tirant parti de ce que les langages naturels ont révélé comme écueils à éviter. La nécessité d'une *spécialisation* du lexique, s'opposant au caractère « vague et ambigu » des termes courants, est évidemment rappelée. Toutes les études montrent que plus un signe est *arbitraire*, mieux il est *protégé* contre les contaminations. Il apparaît enfin qu'un langage efficace doit être doté d'une certaine *concision*. Ces différents thèmes sont réunis dans la courte citation suivante, extraite de l'ouvrage de P. HENLÉ (51). « ... the sciences achieve greater precision by the introduction of special terms defined to have a single exact meaning. Moreover, the emotive suggestions or connotations of familiar words are often disturbing to persons interested only in their litteral or cognitive meanings. The introduction of new terms whose usage is confined exclusively to the cognitive enterprise will free the scientific investigator from the distraction of emotionnal associations acquired by words in other contexts. A third advantage has to do with the economy of expression. » Le lecteur trouvera dans la bibliographie citée plus loin d'autres références sur ce sujet (35, 38, 44, 45, 46, 51, 86).

Nous analyserons maintenant *différentes formes possibles de la néologie* en reprenant des distinctions faites par L. GUILBERT (45) :

1° *La néologie sémantique*. C'est ainsi que l'auteur désigne la pratique consistant à charger un terme déjà existant d'une signification particulière.

2° *La néologie syntagmatique*. Elle consiste à employer des locutions plus ou moins longues, formées d'unités connues. C'est par exemple le cas d'une expression telle que « sol ferrallitique fortement désaturé ».

Ces deux premiers procédés ne relèvent de la néologie que si l'on accorde à ce dernier terme une très large signification. Ils ne satisfont pas aux trois exigences formulées plus haut pour le langage scientifique, la spécialisation, la protection contre les contaminations, la concision. A vrai dire c'est leur procès que nous avons fait tout au long de ce chapitre et du précédent, en raison de la part trop grande que la science du sol leur a faite jusqu'à présent.

3° *La néologie par emprunt.* Deux sources d'emprunt sont à envisager.

La science du sol française peut évidemment adopter *les termes créés en d'autres langages*. Cela s'est beaucoup pratiqué, avec l'inconvénient fréquent d'une transposition sémantique peu fidèle. H. BAULIG (5) a souligné que notre langue est relativement peu accueillante pour les vocables étrangers s'il faut les franciser, contrairement à l'anglais et même à l'allemand qui ont de meilleurs capacités d'assimilation. Au demeurant, l'emprunt de vocables scientifiques créés par d'autres ne fait que *repousser le problème néologique*.

Le *vieux français* et les *parlers dialectaux* pourraient être une importante source de néologismes, par emprunts directs ou par dérivation sur ces emprunts. Nous avons vu (78) qu'est disponible une énorme masse lexicale ayant trait aux sols. Beaucoup de linguistes préoccupés par la néologie préconisent un retour vers les formes anciennes ou vernaculaires. Leurs recommandations malheureusement n'ont guère d'effet. A. GOOSSE (44) a souligné l'impuissance du français à former des dérivés sur ses mots indigènes, en raison de l'habitude vieille de plusieurs siècles de tirer tous les mots abstraits du latin. A cela, il faut ajouter que les altérations phoniques dues à l'usage populaire ne donnent pas des mots très utilisables, si l'on songe à leur transposition éventuelle en d'autres langues que le français, ou à la formation de mots composés si commodes pour les intergrades pédologiques. Ayant lui aussi dépouillé le Dictionnaire des Sols à la recherche de mots à reprendre, R. ETIEMBLE a cité par exemple « voliche », « rièze », « grésière », « drouaise ». Il semble actuellement que de tels mots ont *peu de chances de s'imposer dans le vocabulaire scientifique*.

4° *La néologie par création de bases inédites.* Il s'agit de créer des mots sur des bases phonétiques qui n'ont primitivement pas de signification.

Ce type de néologie est *très rare*. Pourtant, lorsque l'on retient des affixes très courts comme dans le cas du lexique micromorphologique de R. BREWER (ma, mo, vo) ou dans celui des définitions taxonomiques de la 7 th Approximation (acr, hal, plac, plag, ud, ult), l'origine étymologique et sa valeur sémantique paraissent lointaines. Les formations lexicales obtenues *se rapprochent de créations ex nihilo*.

5° *La néologie par emprunt au modèle gréco-latin.* Il est évident que c'est la forme néologique la plus usitée dans le langage scientifique. La grande majorité des mots spécialisés que nous avons rencontrés relève de cette origine.

Les termes à base gréco-latine ont l'avantage de la *concision*. Un exemple le rappellera. A. Van WAMBEKE (*) a établi des corrélations entre différents systèmes de classification. Ce que le pédologue de la F.A.O. dénomme un « ferralic arénosol » devient, suivant la néologie syntagmatique du pédologue français, un « sol ferrallitique moyennement ou fortement désaturé de texture sableuse ».

Contrairement à certains hommes de lettres qui n'admettent pas le mélange de racines grecques et latines, les pédologues paraissent *peu exigeants sur l'origine* des éléments

(*) WAMBEKE (A. Van) - 1971 - Recherches sur la mise en valeur agricole des sols acides des savanes arborées du Brésil. Pédologie, 21, 2, pp. 211-255.

constituant leurs néologismes. Un mot comme « euchrozem », inventé par le CSIRO *(op. cit.)* est significatif à cet égard. Le radical « eu » fait référence à un premier néologisme, « eutrophe », composé sur des bases grecques. Le radical « chro » provient évidemment du grec « chroma ». Quant au suffixe « zem », c'est au russe qu'il est emprunté, puisqu'il désigne le sol dans cette langue.

Il faut noter enfin que les néologismes pédologiques sont souvent construits de façon à *former des séries lexicales homogènes*. Nous avons vu par exemple des typologies donner systématiquement le suffixe « on » aux noms d'horizons, et le suffixe « ol » aux noms de sols. La *capacité de dérivation et d'association en mots composés* apparaît également très importante (pages précédentes).

« *L'inconscient linguistique des francophones est actuellement hostile aux néologismes* », ainsi que le note J. C. CORBEIL (*). Ceci reste certainement vrai pour beaucoup de spécialistes des sols qui contestent l'utilité de la création de nouveaux vocables, ou qui leur reprochent leur ésotérisme et leur manque d'euphonie. Il semblerait que, pour certains d'entre eux, la néologie soit acceptable en certaines langues, puisqu'ils adoptent parfois des termes proposés par des pédologues étrangers, mais qu'elle ne soit pas souhaitable dans le cadre de la pédologie française. Le problème cependant est bien posé : la science des sols ne peut se contenter d'un vocabulaire figé, et les procédés de la créativité lexicale sont connus. En tout cas pour les spécialistes du langage intéressés par les problèmes du monde contemporain, il semble que l'affaire soit entendue. « *La force du néologisme a quelque chose d'irrésistible. Il est la marque de la vie même* » (44).

Les définitions Créer de nouveaux concepts et leur attribuer des vocables bien choisis ne suffit pas. Encore faut-il les définir, ce qui n'est pas toujours facile. Il est fréquent que *différentes formulations* assez éloignées les unes des autres soient possibles, surtout lorsqu'il s'agit de représenter des entités assez générales. Les pédologues contemporains ont vraisemblablement tous une conception assez analogue de ce qu'est le « sol », mais ils se servent rarement des mêmes termes lorsqu'ils doivent l'exprimer. A tel point que certains d'entre eux ont traité le sujet avec humour, affirmant que le sol peut être « anything so called by a competent authority ».

Une *exigence de précision* est souvent manifestée par les spécialistes auxquels des nouveautés terminologiques sont proposées. Il est évident qu'elle doit être satisfaite lorsque des définitions strictement opératoires sont possibles, ainsi que nous l'avons dit, pour les critères analytiques notamment. Il n'en est pas toujours ainsi. Dans le langage pédologique comme ailleurs, toute définition est *donnée en extension et en compréhension*. Ces deux critères varient en sens contraire. En gagnant en extension, une définition perd en compréhension, et inversement. Pour illustrer ceci, nous prendrons comme exemple volontairement schématisé la définition des sols ferrallitiques africains. On pourrait admettre, en allant à l'extrême du principe de zonalité, que ces sols couvrent tout l'espace compris entre les parallèles 12° N et 9° S (**). Parfaite en extension, cette définition serait très mauvaise en compréhension car elle laisserait beaucoup d'indéterminations sur son contenu pédologique réel. Au contraire si la définition est formulée par l'indication d'un ensemble de processus pédologiques, la compréhension est bonne et c'est l'extension qui devient floue. Ce problème peut être présenté d'une autre manière. A propos des unités taxonomiques, G. D. SMITH (92, 93) a rappelé qu'il existe deux sortes de définitions. Si l'on fixe *des limites*, il s'agit d'*un épitomé*. Si l'on fait référence à *un concept central*,

(*) CORBEIL (J.-C.) - 1971 - Aspects du problème néologique. La Banque des Mots, 2, pp. 123-136.

(**) Les sols ferrallitiques actuellement connus en Afrique se situent bien entre ces deux parallèles, mais ils ne sont pas les seuls à occuper ce vaste ensemble géographique.

la définition exprimée correspond à *un orthotype*. Pour illustrer ceci, les exemples pédologiques ne manquent pas. La 7th Approximation a donné ses définitions par épitomés. Il a souvent été noté que ceci l'a contrainte à choisir des critères parfaitement précis mais généralement mineurs (*). Par contre toutes les classifications dites génétiques se font le support de connaissances fondamentales, mais l'extension de leurs taxa reste chroniquement incertaine. Toutes les définitions à donner ne peuvent adopter une solution franche, de type épitomé ou orthotype. Dans beaucoup de cas, le *compromis* entre extension et compréhension reste nuancé.

Il serait illusoire de prendre certains énoncés pour de bonnes définitions en raison de leur style clair et de leur ton assuré. Au-delà des apparences en effet, de nouvelles difficultés surgissent dans le problème des définitions si l'on considère que celles-ci *se renvoient l'une à l'autre*. L'interdépendance des définitions données dans les dictionnaires usuels est bien connue. Mais l'épistémologie générale montre également maintenant (96, 49) que la langue de la science est comparable aux langues communes, et qu'*une définition n'est jamais isolable* des autres. Il existe bien entendu des *rapports d'inclusion*. Il est rare par exemple qu'une définition pédologique n'ait pas un contenu minéralogique ou physico-chimique. Les *rapports d'exclusion ou d'intersection* sont plus délicats. Les pédologues qui ont défini les andosols et les sols ferrugineux tropicaux n'ont pas eu immédiatement conscience du fait qu'ils entraînaient une modification dans la définition des sols ferrallitiques.

Pour toutes ces raisons, il ne faut pas s'étonner de voir parfois des pédologues refuser de formuler des définitions classiques, c'est-à-dire présentées *en quelques mots* ou même en quelques phrases, *dans une intention normative*. Voici comme exemple quelques lignes extraites d'un texte (26) dont le titre est « L'altération » et qui traite du milieu ferrallitique. « Le mot altération... désigne d'une part les processus qui règlent l'apparition, la disparition, la transformation, le maintien des espèces minérales, avec toutes les réactions physico-chimiques et tous les transferts de matière que cela suppose. L'altération exclut les processus hydrothermaux et géologiques profonds, de même que les processus pédologiques au sens le plus restreint ». Une note infrapaginale ajoute ceci : « parmi les processus pédologiques s.s., ceux qui marquent le plus directement la limite du processus d'altération sont la pédoturbation, la pédoplasmation, le lessivage de l'argile et des sesquioxydes, l'intervention massive des agents biologiques. Ces précisions et les précédentes n'ont qu'une valeur partielle. Nous ne prétendons pas définir le processus d'altération par quelques mots, en extension et en compréhension. *Si une définition est nécessaire, il faut considérer que c'est l'ensemble du volume qui la donne* ».

C'est dans le même esprit qu'a été formulée la terminologie typologique des sols ferrallitiques (27) dont nous avons vu au chapitre précédent les principales unités lexicales. Contrairement à l'attente des pédologues réclamant avant tout de la rigueur et de la précision, les définitions données associaient dans des expressions complexes des données morphologiques, des références à des nominations antérieures, des rappels d'hypothèses génétiques. Le but recherché était davantage de remodeler un certain champ conceptuel *par référence à une expérience collective*, plutôt que d'édicter des normes nouvelles et impératives. Les définitions rigides par épitomés sont généralement refusées par les pédologues français. Dans la mesure où l'on préfère travailler sur des orthotypes, ce qui donne plus de latitude à la pensée génétique, *la fausse précision* semble être le premier abus à éviter. La terminologie typologique se présente comme *un mode expressif adaptable à des situations variées*. Chaque auteur est invité à utiliser le lexique en fixant la portée des termes utilisés avec la précision possible dans le contexte étudié.

(*) C'est à ce propos que J. C. DIJKERMAN (32) a fait remarquer que des définitions trop rigides filtrent l'information et font perdre des données significatives.

Conclusion La science du sol a un langage dont on serait tenté de dire qu'il a sa vie propre, paradoxalement indépendante de celui qui le parle. Nous avons vu en effet que le langage impose des manières de penser extérieures à la démarche scientifique proprement dite. Nous avons vu aussi qu'il est animé d'une dynamique interne, entraînant dans son lexique des disparitions, des adoptions ou des créations nouvelles. Nous avons vu enfin que les mots ne se laissent pas toujours définir avec une parfaite complaisance.

LA CLASSIFICATION, LANGAGE DE SUBSTITUTION

La classification, qui soulève tant de problèmes en science du sol, *est-elle réellement une opération indispensable ?* Nombreux sont les philosophes ou les épistémologues qui depuis ARISTOTE répondent par l'affirmative à cette question, en considérant toutes les sciences d'une façon générale. « Classer est un besoin et une nécessité pour l'esprit humain qui aspire à la connaissance. C'est une opération qui lui est inhérente et inéluctable sitôt qu'il s'efforce de percevoir, de pénétrer la Nature » (*). En des termes plus imagés, L. GLANGEAUD (**) affirme que « la classification est aussi indispensable pour les Sciences de la Matière que le solfège pour la musique ». Biologiste devenu épistémologue, C. F. A. PANTIN (73) défend la valeur heuristique du travail de classement, soutenant que toutes les sciences sont classificatoires même quand elles n'en ont guère l'apparence. Tout acte de connaissance, pour PANTIN, suppose une opération de classement. Une vision historique par contre conduit plutôt à minimiser le rôle de la classification, pour situer celle-ci comme une étape première mais rapidement dépassée dans la démarche scientifique. Les naturalistes des siècles derniers se préoccupaient beaucoup de classification, ce qui ne semble plus être le cas des biologistes contemporains. Ainsi pour E. NAGEL (71) « La classification des choses est un premier stade indispensable de toutes les sciences », mais elle ne conserve pas ce rôle heuristique permanent que lui attribue PANTIN. Contentons-nous ici d'avoir rappelé le problème (***).

Le débat sur la nécessité de la classification est habituellement posé dans une problématique interne de la science. Mais l'on peut également s'interroger sur *les composantes psychologiques* de l'acte de classer ou de faire appel à une classification déjà adoptée. « La pensée scientifique nous fait peur, parce qu'elle n'est protégée par aucune divinité, aucune autorité, aucun principe métaphysique » (****). Ce trouble de la pensée scientifique est ressenti plus qu'ailleurs peut-être dans une science encore éloignée de sa maturité. Face au doute et à l'incertitude, il nous semble que la classification universaliste des sols joue *le rôle d'une structure transcendentale et sécurisante.* A tout le moins, elle apporte la caution des maîtres qui l'ont instituée. Les conflits d'opinions s'apaisent parfois lorsque les pédologues parviennent à s'entendre pour attribuer tel sol à telle unité taxonomique. C'est qu'en effet la classification instaure *une sorte d'ontologie*

(*) BRIEN (P.) publié dans (62).

(**) GLANGEAUD (L.) - 1955 - Classification scalaire des sciences de la matière et de leurs méthodes. *Rev. Géné. Sci.*, 62, pp. 146-175.

(***) Pour la structure des classifications, et au sujet de leur rôle dans la science, le lecteur pourra consulter parmi une littérature abondante les communications faites au colloque sur « La classification dans les sciences » (62) et les articles de L. N. FALIN (39), D. L. HULL (54), G. SANDRI (84).

(****) DUBAL (G.) - 1970 - Le cheminement vers la pensée scientifique. 12e Congr. Intern. Hist. Sci., t. 2, Albert BLANCHARD, pp. 29-32.

pédologique. La parenté entre le concept biologique d'espèce et celui de la série de sols a été plusieurs fois soulignée. Dans la psychologie de qui le classe, un sol entrant dans une unité taxonomique acquiert une réalité nouvelle. Ceci est un sol ferrugineux tropical, et non une contingence pédologique. Nous ajouterons encore, à la suite de Cl. LÉVI-STRAUSS (*), que « la taxinomie, qui est la mise en ordre par excellence, possède une éminente *valeur esthétique* ». Voilà donc bien des incidences psychologiques à relier au rôle important tenu par la classification dans la science du sol.

Une très simple analyse logique montre que l'on exécute des classements en de multiples occasions. Définir le critère A conduit à séparer ce qui est A de ce qui est non-A. Un ensemble de mots et de définitions réalise à plus forte raison une segmentation et donc un classement. Mais c'est à des systèmes plus élaborés que l'on se réfère généralement en parlant de « classification ». En matière de science du sol, il s'agit alors de ce que l'on a dénommé une *classification universaliste* (24). Cette expression désigne un système qui prétend représenter tous les sols existants, et qui veut synthétiser toutes les connaissances acquises à leur propos. Considérée ainsi, *la classification couronne l'édifice scientifique*. Ont fait œuvre de classificateurs parmi les pédologues russes ou soviétiques DOKUCHAEV, SIBIRTZEV, GLINKA, VILENSKI, ZAKHAROV, NEUSTREV, PRASOLOV, POLYNOV, WILIAMS, RODE, ROZOV, TIURIN, KOVDA, LOBOVA, ROZANOV, GERASIMOV, GLAZOVSKAYA, parmi les pédologues européens MUCKENHAUSEN, KUBIENA, DEL VILLAR, AVERY, FITZPATRICK, DEMOLON, OUDIN, AUBERT, DUCHAUFOUR, chez les pédologues américains MARBUT, BALDWIN, THORP, SMITH, KELLOG et tous ceux qui ont participé à la 7th Approximation. Notre liste est loin d'être complète, elle suffit pourtant à illustrer l'intérêt porté à la classification par de très grands noms de la science des sols. S'il est déjà difficile de mentionner tous les classificateurs, il devient vraiment impossible de citer toutes leurs publications et tous les commentaires qu'elles ont suscités. Tout a été dit, semble-t-il, sur *les classifications naturelles et artificielles*. Pour notre part, nous avons préféré distinguer *celles qui sont sélectives, sommatives, pangnosiques* (24). Les chapitres précédents ont montré à quelles options épistémologiques fondamentales correspondent ces systèmes. Nous ne reviendrons pas maintenant sur ces problèmes généraux, mais nous considérerons certains points particuliers.

L'attention a déjà été attirée (24) sur le fait que certaines classifications possèdent des *unités stables*, alors que d'autres n'en ont pas. Les pédologues soviétiques ont recensé 110 « types génétiques » (**), ceux des U.S.A. ayant pour leur part catalogué environ 8 500 « séries » (94). La classification qui assemble des unités stables, types génétiques ou séries, apparaît comme une mise en ordre didactique. Elle constitue une superstructure qui peut être remodelée sans nécessairement perturber les fondements de tout le système. Cela est vrai surtout dans le cas des types génétiques qui sont assez peu nombreux pour être mémorisés, et qui peuvent alors servir vraiment d'unités sémantiques. Mais *dans le cas de la classification française*, depuis la version proposée par G. AUBERT et Ph. DUCHAUFOUR (3) jusqu'à celle du C.P.C.S. (29), aucune unité stable, *aucun noyau sémantique permanent* ne s'est transmis (***).

A cela il faut ajouter que la classification française semble avoir été élaborée suivant un modèle dichotomique descendant. Instituant les taxa d'ordre élevé, elle n'a jamais été pour-

(*) LEVI-STRAUSS (Cl.) - 1962 - La pensée sauvage. Plon, 389 p.

(**) ROZOV (N. N.), IVANOVA (Ye. N.) - 1967 - Classification of the soils of the URSS. *Soviet Soil Science*, 2, pp. 147-156.

(***) Conscient de ce problème, G. AUBERT écrivait pourtant « le concept des Groupes et Sous-Groupes reste pour nous l'élément essentiel ; leur organisation en Classes et Sous-Classes pourra évoluer ». Mais en fait, entre 1962 (Classification présentée par G. AUBERT au Symposium sur les sols tropicaux à Gand) et 1967 (C.P.C.S.), Groupes et Sous-Groupes ont été modifiés dans une large proportion. La citation précédente est extraite de l'article suivant : AUBERT (G.) - 1963 - La classification pédologique francaise. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 3, pp. 1-7.

suivie plus bas que le quatrième niveau, correspondant aux sous-groupes. Elle n'a pas pu s'établir sur des unités élémentaires préalables, telles que les séries, fussent-elles provisoires, non plus que sur des systèmes typologiques dont l'absence a déjà été notée. C'est dans ces conditions assez particulières que l'on peut dire que *la classification se présente comme un langage de substitution.* Construite *ex abrupto*, c'est elle qui découpe, et redécoupe au cours de ses différentes versions, la totalité du champ sémantique. Elle crée de ce fait chacune des entités pédologiques, alors que son rôle pourrait se limiter à mettre en ordre celles qui auraient été *constituées et dénommées par un autre travail*, antérieur à elle et plus lentement élaboré (*). Elle s'est établie, nous l'avons dit, dans une situation de pauvreté linguistique, à moins qu'elle n'en ait été elle-même la cause. La classification est devenue le moyen essentiel de communication, se substituant à d'autres formes possibles d'expression.

Un tel langage multiplie *les contraintes*, d'autant plus peut-être que les principes de la classification sont mal compris. E. G. KNOX (58) a rappelé que, dans un système taxonomique, une « classe » constitue un champ abstrait représentant le domaine d'applicabilité d'un « concept de classe ». Pour l'auteur, ceci s'oppose à l'idée communément admise parmi les scientifiques qu'une classe se définit comme un « groupe d'individus ». Dans le domaine qui nous occupe, de telles confusions ont pu être fréquentes. Le taxon institué par une classification génétique correspond sans doute à ce *champ conceptuel* dont parle KNOX. Mais le pédologue qui applique la classification *traite des populations*. Il s'attend à recevoir d'elle une définition vraiment *représentative de chacun des individus pédologiques*. Un exemple permettra de mieux faire comprendre cette situation. Proposant une nouvelle classification des sols ferrallitiques, G. AUBERT et P. SÉGALEN (**) ont retenu le remaniement des sols comme critère important. Pour l'appliquer aux sols de Côte d'Ivoire. A. PERRAUD (***) a voulu apporter à cette classification la « précision » qui paraissait lui manquer. L'opération a consisté à fixer des limites : seuls devaient être classés « remaniés » les sols possédant des éléments grossiers au-dessus d'une profondeur donnée. Bien entendu cela a provoqué de longues discussions entre pédologues confrontés sur le terrain. De proche en proche, toutes les unités de classification des sols ferrallitiques ont été traitées ainsi. C'est *une substitution presque complète* qui s'est opérée. Comme le fait remarquer A. BEAUDOU (comm. person.) la classification qui dénombrait un certain nombre de concepts pédologiques a été *employée comme une clé de repérage* pour des faits morphologiques très concrets. Ceux-ci auraient été plus facilement traduits par une terminologie typologique véritable.

Les adaptations comme celle faite par PERRAUD se sont multipliées. Elles ont donc imposé à la classification la contrainte de *prendre des profils comme éléments de référence*. A chaque verticale pédologique peut alors correspondre un taxon. Il est devenu commun de faire remarquer, lorsque les sols ont une grande variabilité comme par exemple les sols ferrallitiques cuirassés et gravillonnaires, que les parois d'une seule fosse pédologique peuvent faire apparaître plusieurs types de sols. La cartographie se trouve de ce fait fortement compliquée. Les « unités pures », c'est-à-dire les unités cartographiques définies par un seul taxon, apparaissent comme des simplifications outrancières, et l'on peut être tenté de les remplacer systématiquement par des associations, des complexes, ou des juxtapositions. Plusieurs tentatives ont été faites pour sortir de cette situation. L'unité paysagique de sol (soil landscape unit) de certains pédologues américains (58), ou le concept profilo-régional proposé par V. A. DOLOTOV (33) constituent

(*) C. F. MARBUT par exemple considérait que la définition des « types de sols » devait être préalable à l'établissement de la classification. Ceci est rapporté par KNOX (58).

(**) AUBERT (G.), SEGALEN (P.) - 1966 - Projet de classification des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 4, 4, pp. 97-112.

(***) PERRAUD (A.) - 1971 - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Les sols. *Mém. ORSTOM, n°* 50, pp. 269-391.

peut-être de bonnes solutions. Il est toutefois difficile d'en juger, et ce qu'il faut noter c'est que le système français n'a rien retenu de tel.

Il existe dans toute classification une *énonciation directe*, qui suffit à présenter chaque unité taxonomique. Cette énonciation, ou si l'on préfère ce « titre » donné à chaque taxon entre évidemment dans le lexique pédologique. Nous avons déjà eu l'occasion de remarquer, grâce au Vocabulaire Multilingue (55) notamment, que c'est pour y tenir une place importante. L'énonciation directe peut se faire par des *néologismes savants*, constructions parfois assez gratuites, à l'étymologie peu apparente, comme dans le cas de la 7th Approximation. Elle peut aussi utiliser des locutions complexes, comme le fait la classification française (29). Celle-ci retient parfois des néologismes, généralement étrangers (vertisol, andosol, rendzine, brunizem, etc.). Elle les associe à des locutions qui ne comprennent parfois que des mots courants. Le Groupe II/11 par exemple sera dit « Groupe des sols à forte ségrégation de glace non ordonnée ». Nous n'insisterons pas sur ces différentes options lexicales déjà largement commentées. Il faut noter par contre que l'énonciation directe donnée par la classification joue un rôle d'*éponyme*, ou *de métonymie*. Ceci veut dire qu'elle représente une information plus large, donnée ailleurs par une liste de critères (épitomé) ou par l'explicitation du « concept de classe » (orthotype). Cette information est complétée par le fait que la classification constitue une structure dont tous les éléments sont interdépendants et se délimitent réciproquement les uns les autres. Nous avons déjà noté cela, mais le lecteur acceptera peut-être un nouvel exemple. Lorsque le classificateur (29) présente le « Groupe des sols bruns calcaires », deux caractères seulement sont directement énoncés. Ils servent d'éponyme à une définition plus longue, indiquant la présence d'un (B) structural, une structure granuleuse, une effervescence à froid avec HCl dilué, etc. La référence à l'ensemble de la taxonomie élimine ce qui appartient aux Groupes voisins, celui des rendzines, ou des cryptorendzines. La classification apparaît donc comme un langage complexe, qui *ne se prête pas à une saisie directe*.

En *conclusion*, il nous semble (24) que la classification universaliste des sols, en tant que forme particulière du langage, a eu jusqu'à présent une importance excessive et qu'elle a introduit bien des complications dans la communication des connaissances. Son rôle pourrait être réduit dans la mesure où la science du sol, prenant conscience de la problématique générale du langage, structurerait à différents niveaux par des créations lexicales nouvelles son domaine sémantique. La classification ne serait plus *le point de passage obligé* de toute démarche scientifique. Elle pourrait s'accommoder de la variabilité qui lui est actuellement reprochée, et renouvellerait ses objectifs en même temps que ses formules.

Nous avons recherché sans complaisance les insuffisances ou les abus de la classification des sols. C'est ainsi que l'on peut espérer surmonter certaines difficultés. Il ne faut pas pour autant passer sous silence ce qui paraît être *le plus incontestable succès* des classificateurs. Jusqu'à l'heure actuelle, la classification universaliste a été le cadre privilégié de l'élaboration et de la discussion des concepts pédologiques. Elle a été une véritable structure d'accueil et d'ouverture, ce qu'elle a payé d'une apparente versatilité. Elle a été aussi la base d'un enseignement. Il existe actuellement une école française de pédologie originale. Nous pensons que celle-ci s'est constituée autour de la classification des sols élaborée par G. AUBERT et Ph. DUCHAUFOUR (3). Dans une perspective historique, cette première classification restera considérée comme un événement scientifique majeur. Il en est probablement de même pour les différentes écoles pédologiques qui ont adopté d'autres classifications et suivi d'autres voies.

Chapitre sept

UNE NOUVELLE DUALITÉ ÉPISTÉMOLOGIQUE

Une épistémologie régionale comme celle que nous tentons d'édifier accomplit un rôle souvent ingrat. En effet elle ne pourrait, sans devenir vaine, se contenter d'enregistrer les succès de la science qu'elle prétend servir. Il lui faut faire œuvre utile, en développant des suggestions constructives sur des constats de carence ou sur la mise au jour d'éventuelles lignes de faiblesse. Elle doit donc accomplir un travail de « critique », parfois au sens le plus dur du terme. C'est ce que nous avons entrepris à plusieurs reprises, notamment à propos des raisonnements et du langage de la science du sol.

Un autre comportement est heureusement possible. La recherche épistémologique peut trouver l'occasion de définir de nouvelles orientations qui ne soient pas une réfutation de pratiques antérieures. Il ne s'agit plus de corriger ou de rectifier, mais d'engager de véritables dépassements méthodologiques, de provoquer peut-être des coupures épistémologiques (4). C'est de cette façon que nous présenterons une nouvelle dualité épistémologique qui se fait jour dans certains travaux. Se substituant à l'opposition du réalisme et du nominalisme tout en gardant avec ceux-ci une évidente parenté, les deux termes de la nouvelle dualité apportent des principes méthodologiques renouvelés. L'avenir révèlera toute leur force.

LA PÉDOLOGIE, SCIENCE DIALECTIQUE

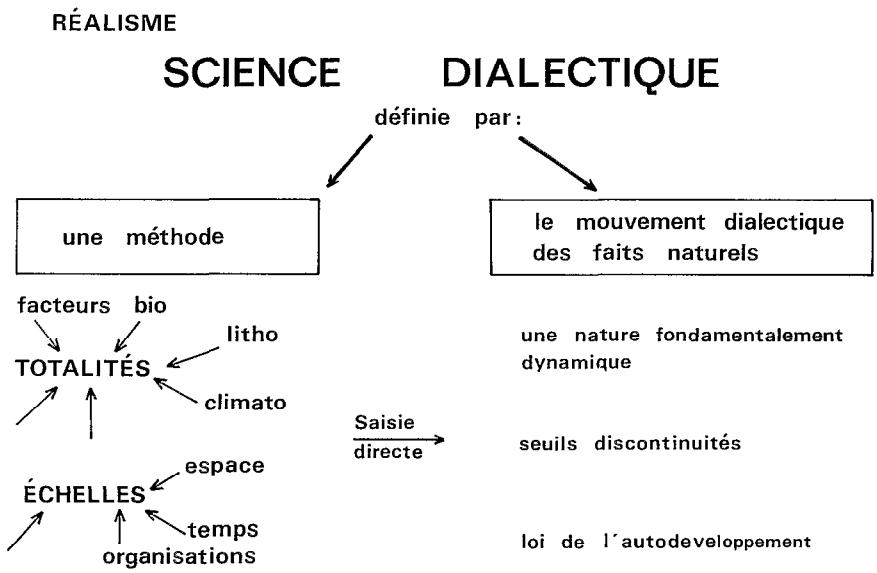
Affirmation de principe La valeur méthodologique d'une dialectique appliquée au cas de la science du sol a été souvent affirmée. Les auteurs qui se sont prononcés ainsi appartiennent aux pays où le matérialisme est reconnu comme philosophie générale. Sans longues recherches, il est facile de trouver des références explicites à cette question chez *les auteurs soviétiques les plus autorisés*. Par exemple, V. A. KOVDA, Ye. V. LOBOVA et B. G. ROZANOV *(op. cit.)* ont dit leur conviction que les classifications les plus sûres et les plus aptes à stimuler les recherches sont celles basées sur le matérialisme dialectique et sur la dialectique historique. A. A. RODE *(op. cit.)* fait lui aussi appel aux mêmes principes, notamment pour justifier la réalité d'un processus unique responsable de la genèse de chaque type de sol. De telles références sont plus discrètes chez beaucoup d'auteurs, ou énoncées avec plus d'autorité chez d'autres comme D. G. VILENSKII (*, **).

(*) VILENSKII (D. G.) - 1957 - Soil science. Israël Progr. Sci., Transl., Jerusalem 1960, 488 p.

(**) Ces références de caractère philosophique sont diversement accueillies. G. D. SMITH (94) par exemple les trouve tout à fait déplacées dans des textes pédologiques, lorsqu'apparaissent les noms de MARX et de LÉNINE.

Les pratiques de la dialectique (*) ne sont pas nécessairement liées à une philosophie, et encore moins à un système politique, ou à un pays. Nombreux sont les scientifiques qui ont donné inconsciemment à leurs travaux un caractère dialectique qui n'est apparu comme tel que *a posteriori*. Les spécialistes du marxisme ont ainsi découvert depuis longtemps que des savants comme Ch. DARWIN ou D. I. MENDÉLÉEV ont été en leur temps d'excellents dialecticiens. Il ne pouvait manquer d'en être de même pour V. V. DOKUCHAEV et N. M. SIBIRTSEV. Ainsi S. S. SOBOLEV (**) a fait remarquer avec quelle facilité leurs conceptions ont été reprises dans le cadre du matérialisme dialectique. Les auteurs soviétiques toutefois sont trop éloignés de nous pour que nous entreprenions de suivre, dans le détail de leurs travaux pédologiques, l'application de leurs principes les plus généraux. Si une méthodologie de type dialectique peut être définie pour la science du sol, nous préférerons la montrer à l'œuvre *dans notre domaine habituel*.

TABLEAU 16



La dialectique dans une science de la nature

Une science dialectique est donc annoncée. Elle est mise en pratique, nous n'en douterons pas, par les pédologues soviétiques. Ses manifestations s'étendent au domaine qui nous occupe, cela apparaîtra plus loin. Dans l'un et l'autre cas, il est incontestable qu'elle procède d'*une épistémologie fondamentalement réaliste*, et plus précisément puisqu'il s'agit des sols, de *la pensée génétique*. Le matérialisme dialectique marxiste est clair à ce sujet, lorsqu'il veut bien s'écarter des questions humaines pour considérer l'ensemble de la Nature. La théorie générale de la connaissance qu'il développe est parfois dite, lorsqu'elle conserve sa forme la plus schématique, « théorie du reflet ». Nous n'avons ni la place ni la compétence nécessaires pour traiter cette question.

(*) D'autant que l'on pourrait distinguer plusieurs types de dialectique. Nous verrons plus loin ce dont il s'agit ici.

(**) Préface de S. S. SOBOLEV à l'ouvrage suivant : SIBIRTSEV (N. M.) - 1966 - Soil science (Selected works). *Israel Progr. Sci. Transl.*, Jérusalem 1966, vol. 1, 354 p.

Il faut pourtant situer les bases épistémologiques ou philosophiques de cette pédologie dialectique que nous voulons présenter. Quelques références bibliographiques facilement accessibles nous y aideront. Nous avons déjà eu l'occasion de citer A. SCHAFF (87), linguiste marxiste qui a clairement rappelé cette théorie du reflet avant d'aborder la problématique langage-pensée. Le lecteur pourra s'y reporter, de même qu'aux ouvrages de P. DAIX (31) et de H. LEFEBVRE (63). Au milieu d'une analyse des structures de la dialectique, et de ses remises en cause, P. DAIX cite cette phrase lapidaire attribuée à K. MARX lui-même : « le mouvement de la pensée n'est que la réflexion du mouvement réel, transposé et transporté dans le cerveau de l'homme ». H. LEFEBVRE lui aussi souligne que la logique dialectique veut être une recréation du réel. Il ajoute qu'elle est valable pour tout contenu. Elle s'universalise en s'appliquant depuis la réalité humaine jusqu'à l'ensemble de la Nature. Dans toute l'étendue de ses applications, la dialectique n'est pas seulement un mouvement intérieur de l'esprit. Elle est réelle, dans l'être lui-même. Nous arrêterons là ces rappels qui, par leur simplification, risquent de dénaturer une pensée riche et complexe. Il nous suffit d'avoir retrouvé une certaine forme du réalisme. *Une pédologie dialectique sera donc une pédologie réaliste*, au sens que nous avons déjà donné à ce terme.

Ceci n'est pas encore significativement différent de la pensée génétique telle que nous l'avons présentée. L'originalité de la dialectique est de proposer une *méthodologie générale* et d'établir une certaine *prévision* sur les phénomènes naturels. Les lois et les catégories philosophiques admises par la dialectique matérialiste ne peuvent être commentées ici. Le plus simplement possible, il suffira de retenir ce qui peut être appliqué au cas d'une science de la Nature. Le dialectique invite à considérer les objets ou les phénomènes à étudier comme des *totalités* dont les parties sont interdépendantes. Elle s'oppose aux perspectives réductionnistes ou atomistiques qui traitent isolément certains faits de la réalité. Le rôle des *discontinuités* est tenu pour primordial. La Nature est foncièrement discontinue, dès lors qu'elle est en état de mouvement. Les discontinuités peuvent résulter d'un changement qualitatif produit par un processus unique au delà d'un certain seuil, ou d'interactions entre processus différents.

De façon pratique, cela s'applique-t-il à des domaines scientifiques comparables au nôtre ? Dès le premier chapitre de cet ouvrage, nous avons trouvé des géographes ou géomorphologues pour répondre par l'affirmative à cette question. Rappelons encore les discontinuités statiques ou dynamiques, endogènes ou exogènes, les seuils de manifestation, d'extinction, de divergence, etc., mis en évidence par R. BRUNET (19). Cet auteur reproche à d'autres géographes de rester à l'écart de la réflexion dialectique et par là de continuer à ne discerner que des tendances linéaires, à décortiquer des complexes pour considérer isolément leurs différents éléments, à ignorer qu'un mouvement donné peut de lui-même changer de sens en l'absence de perturbations externes. Et puisque nous avons déjà fait allusion à la théorie du reflet, citons une fois de plus J. TRICART (97) : « la nature dialectique des phénomènes nous amène à avoir toujours présentes à l'esprit deux notions... (qui) sont nées de la prise de conscience même des choses... ». Ces deux notions sont celles d'autocatalyse et de rétroaction, dialectiquement opposées l'une à l'autre. Dans une perspective différente, qui est celle de l'histoire des sciences, R. HOOYKAAS (52) présente également comme fondamentale l'opposition entre les conceptions continuistes et discontinuistes. Il s'agit cette fois des sciences géologiques et biologiques. Voilà donc des auteurs, peu éloignés de nous, pour qui une approche des totalités et la reconnaissance des discontinuités représentent *une voie méthodologique originale et efficace.*

Au début de cet ouvrage, pour présenter la pensée génétique de la science du sol avant de commenter ses différentes manifestations, nous avons montré qu'elle est implicite dans les principes généraux énoncés par certains spécialistes. La même démarche sera suivie maintenant pour caractériser une pédologie de type dialectique. Deux exemples seront examinés plus loin avec assez de détails. Auparavant, *nous retiendrons comme déclarations méthodologiques*

particulièrement significatives *les définitions du sol* formulées par quelques auteurs. Pour bien comprendre ces définitions, il peut être utile de les opposer à celles qui présentent le sol avec le plus de restriction et de contingence. Parmi ces dernières, la définition donnée par R. W. SIMONSON (*) est bien connue : « Soils are natural bodies formed on land surface, and having unique morphology », de même que celle de la 7 th Approximation : « Soil is the collection of natural bodies on the earth's surface... etc. ». G. AUBERT et J. BOULAINE (2) s'expriment en des termes très différents : « Le sol est le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent ». La pensée génétique est très apparente, puisque le sol est présenté comme le produit d'un certain nombre d'actions. Ce n'est plus seulement sa position à la surface terrestre qui permet de le reconnaitre. A ceci s'ajoutent les conditions nécessaires pour que le sol soit pris comme une « totalité ». Les interdépendances sont manifestes, aucun élément de la définition n'est isolable sans perte de compréhension. Certains auteurs se sont exprimés en des termes encore plus explicitement dialectiques. Voici ce qu'écrivent I. P. GERASIMOV et M. A. GLAZOVSKAYA (**). « The process of soil formation is *the sum total* of various chemical, physical and biological phenomena occuring in soils and determining the composition and properties of the soil material. It is also essential to understand that *like all natural processes*, the soil-forming process is characterized by *the simultaneous occurence of diverses phenomena of opposite trends* ». Parmi ces phénomènes contraires et pourtant associés dans un même processus génétique, figureront par exemple la décomposition continuelle de certains minéraux et la formation simultanée de nouvelles argiles, ou la destruction de corps organiques s'accompagnant de l'apparition de matière vivante et de composés humifères nouveaux. Nous retrouvons donc exprimées ici une conception génétique du sol, une approche méthodologique qui se fait au niveau des totalités, une reconnaissance de la généralité d'interactions, celles-ci étant souvent opposées l'une à l'autre. Ces *interactions concurrentes* représentent un aspect important, que nous n'avions pas encore souligné, de la dialectique à l'œuvre dans une science de la Nature (***).

Nous essaierons maintenant de montrer de façon beaucoup plus concrète comment ces principes méthodologiques peuvent se trouver appliqués lors de travaux de pédologie générale. Les deux exemples retenus concernent l'un et l'autre les sols tropicaux.

Une première illustration

Cette première illustration sera fournie par l'étude d'une séquence pédologique en milieu ferrallitique forestier réalisée par P. H. NYE (72). La publication date de 1954 et 1955. Très remarquée à son époque, elle ne semble pas encore périmée vingt ans plus tard. L'auteur lui-même ne s'est réclamé d'aucune épistémologie particulière. C'est nous qui prétendons montrer que son travail a *un certain caractère dialectique*, imparfait sans doute mais *déja nettement discernable*. Sans présenter d'exposé méthodologique, NYE a pourtant utilisé des termes très significatifs pour une analyse épistémologique. Son titre tout d'abord, « Some soil forming processes in the humid tropics », est parfaitement clair. De toute évidence, il annonce une pensée génétique. Voici quelques phrases intéressantes écrites par NYE dans son introduction. « In spite of considerable diversity in detail, the soils derived from igneous and metamorphic quartzose rocks, which extend over very large areas of the West African forest, have in common many essential and characteristic features. Many

(*) SIMONSON (R. W.) - 1959 - Outline of a generalized theory of soil genesis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23, 2, pp. 152-156.

(**) GERASIMOV (I. P.), GLAZOVSKAYA (M. A.) - 1960 - Fundamentals of soil science and soil geography. *Israel Progr. Sci. Transl.* 1965, 382 p.

(***) Dans la dialectique matérialiste marxiste, cela correspond à la « loi de l'unité et de la lutte des contraires ».

of *the processes involved in their formation can only be revealed by intensive work* on carefully selected soils - *an approach to tropical soils that has been much neglected.* The object of the present study was *to reveal in detail the genesis* of a catenary sequence of soils... ». Passons sur toutes les manifestations ouvertement génétistes. Mais que veut dire NYE à propos de cet « intensive work » constituant une méthode trop longtemps négligée, et comment comprendre son insistance à traiter la genèse des sols « in detail » ? En considérant la suite de sa démarche, il devient évident que l'auteur reproche à beaucoup de travaux leurs visions partielles et sélectives. Dans les chapitres précédents, nous avons effectivement rencontré bien des recherches de cette sorte, ne portant souvent dans un vaste domaine géographique que sur un seul paramètre pédologique. C'est à une séquence courte et unique que NYE se propose de restreindre son étude. Dans un cadre aussi limité, il peut espérer prendre en compte tous les paramètres. Disons-le pour lui, s'il restreint son champ de travail c'est afin de pouvoir *appréhender les sols dans leur totalité.*

Les enseignements fondamentaux de la science du sol ont appris à chaque pédologue à considérer les principaux facteurs d'évolution, qui sont la roche-mère, le climat, la topographie, le temps, la végétation et les agents biologiques. NYE ne manque pas de donner les précisions nécessaires à leur sujet, et de fixer ainsi le cadre général de son étude. Plus précisément, *la genèse des sols* résulte de *transformations et de mouvements de la matière* qui sont étudiés ainsi :

1° Les *mouvements de l'eau* sont directement observés. Tout d'abord, il n'apparait pas de ruissellement en surface sous végétation naturelle, même lors des fortes pluies. L'eau pluviale percole donc les profils dont la perméabilité est élevée. Les fluctuations de la nappe sont relevés sur puits ou sur coupes naturelles. Ceci permet d'estimer que les mouvements *latéraux* sont *insuffisants* pour assurer un transport important de l'argile. L'étude d'un dispositif expérimental (parcelle arrosée, limitée à l'aval par une tranchée) confirme les interprétations de terrain et notamment la *prépondérance du drainage vertical* sur le drainage latéral ;

2° La matière minérale des sols provient essentiellement des *processus d'altération.* Ceux-ci sont étudiés de façon classique. NYE montre notamment la formation de montmorillonite dans les zones profondes puis sa disparition, la kaolinisation des feldspaths, la formation de vermiculite à partir de biotite puis la libération du fer lors de sa destruction. L'argillification tardive des micas est notée, elle se produit dans les zones de mobilité de l'argile, en interférence avec les processus de lessivage ;

3° Le *concrétionnement* se produit par dépôt et durcissement du fer dans des fragments de roche altérée. Les concrétions évoluent progressivement jusqu'à devenir dures, denses, en prenant des formes circulaires ou elliptiques. Soumises à un pédoclimat devenu plus humide, elles se décomposent, deviennent rugueuses et libèrent à leur surface les quartz primitivement inclus. La *cuirasse* (iron pan) se forme vers le bas de pente. Progressivement dissoute à sa partie supérieure, elle se reconstitue par la base. Le *transport du fer et du manganèse* de certaines concrétions est relié au pédoclimat. Le manganèse n'apparaît pas en haut de pente ;

4° Les mouvements de l'argile, *éluviation et illuviation*, sont attentivement étudiés par NYE. Dans les horizons supérieurs, l'appauvrissement en argile est manifeste. A l'intérieur du profil, les *courbes granulométriques* montrent des variations de proportion entre les fractions fines et celles, plus grossières, qui sont plus stables et que les termites ne transportent pas. L'accumulation argileuse est parfois rendue apparente par un *changement textural abrupt*, au-dessus de la nappe de bas de pente. Elle est mise en évidence aussi par le *remplissage de chenaux* traversant les altérites ;

5° La partie supérieure des profils est soumise à des *mouvements de masse* (creep) rendus apparents par plusieurs faits morphologiques. En aval d'un affleurement gneissique,

jusqu'à une certaine distance le long de la pente, des débris de roche sont inclus dans les sols. Sur les versants, les filons quartzeux traversent sans grande perturbation les horizons inférieurs. Ils sont fauchés, et les débris de quartz s'épandent à la base de la zone remaniée. NYE distingue donc les « *sedentary horizons* » et les « *creep horizons* » ;

6° Les *actions biologiques* sont attentivement étudiées. Les vers déposent d'abondantes déjections à la surface du sol. Les termites puisent en profondeur des matériaux appartenant à des classes granulométriques bien déterminées, contribuant ainsi à la *concentration des éléments grossiers* et au *développement des « creep horizons » meubles* de la partie supérieure des sols.

Il est rare, même à l'heure actuelle, de trouver réunies dans une seule étude *autant de perspectives complémentaires*. Peu d'auteurs manifestent le même intérêt et la même compétence pour la minéralogie des altérites et pour les actions biologiques, pour la dynamique de l'eau et pour celle des sesquioxydes, pour des processus d'ordre géomorphologique et pour ceux déplaçant les particules argileuses dans les sols. Le résumé trop court que nous avons présenté est insuffisant pour le montrer, pourtant toutes les données recueillies *s'articulent les unes aux autres*. NYE le dit parfois plus ou moins bien dans son texte. « A study of only the vertical development of a profile omits half the picture. The lateral relationships and variations between corresponding horizons in the catenary successions of profiles equally deserve study ; and, as will be shown, it is impossible to understand the formation of the profiles of the lower parts of the slope unless the formation of the upper-slope members is understood, and the importance of such factors as lateral drainage and soil creep is appreciated ». Quelques mots de plus auraient permis à l'auteur de faire mention d'autres processus encore, étudiés eux aussi par lui.

Où conduit cette méthode d'approche ? Faisant apparaître diverses composantes, souvent concurrentes l'une envers l'autre, elle permet de comprendre des processus pédogénétiques foncièrement complexes. Le texte de NYE résume parfois de façon heureuse et concise les interactions reconnues. Un seul fait morphologique, comme la concentration de graviers, résulte d'une *convergence* de mécanismes. « The quartz gravel is concentrated in this horizon by *eluviation* of clay, further *decomposition* of the silt and sand fractions, and *removal* by termites of fine earth fractions into the horizons above ». Le lessivage de l'argile est une résultante de mouvements *antagonistes*. « The upper horizons are being removed by creep, clay is being eluviated through the fabric of decomposed rock, and at the base decomposed rock is emerging from the water-table. The clay is being eluviated down root channels from the base of the zone in which it is concentrated, and *as it is removed more clay can take its place from higher up* ».

D'une façon plus générale, c'est l'évolution du sol qui doit être comprise comme un tout complexe. « *The profile must rather be seen as in a continuous state of development* in which the upper horizons are being removed by creep and *constantly renewed* by material from the top of the sedentary horizon, while at the same time and keeping pace with this development, a mass of clay is being washed down the profile... ». Cela semble aller à l'encontre d'un anthropomorphisme préalable et implicite, puisque l'auteur croit bon de préciser « It is necessary to emphasize that this profile, *though mature, is developping continuously* ». Il faut aller plus loin, encore sortir d'une notion du sol réduite à la maille du profit, pour saisir *la véritable totalité pédologique*, qui est la caténa.

Une pédologie dialectique plus avancée

L'ébauche d'une méthodologie dialectique est apparue, mal formulée, dans le travail de P. H. NYE. L'auteur n'a peut-être pas eu conscience d'apporter une signification épistémologique, et en présentant ses résultats de façon un peu désordonnée il a obscurci leur valeur méthodologique. Une pédologie dialectique plus élaborée, plus récente aussi, sera maintenant considérée. Nous lui donnerons comme exemple, et comme modèle, l'ouvrage de G. BOCQUIER (13). Il a déjà été commenté dans les pages précédentes, pour situer son inspiration génétique, montrer l'habileté de son

raisonnement, analyser son langage riche et imagé. G. BOCQUIER ne définit pas sa position épistémologique. Il est pourtant plus explicite que NYE dans le *renouveau méthodologique* qu'il propose et dans l'exposé de nouvelles conceptions des sols, des paysages et de leur dynamique. L'étude critique détaillée de son travail, trop dense et trop complexe, n'est pas possible ici. Nous en retiendrons seulement certains aspects parce qu'ils sont utiles à l'enchaînement de nos propos.

Nous considèrerons d'abord ce qui est dénommé par G. BOCQUIER « *loi de l'auto-développement des systèmes biogéodynamiques* ». Avant de l'expliciter dans les termes mêmes de son auteur, situons-la rapidement. Le mot « développement » est pris dans le sens d'une « différenciation ». Cela signifie qu'un processus biogéodynamique se poursuivant sans perturbation externe peut parvenir de lui-même au-delà d'un certain seuil à une évolution nouvelle. Toute une compréhension des phénomènes naturels se trouve ainsi traduite. Elle parait *en parfaite conformité avec la dialectique matérialiste* et avec ce que celle-ci laisse prévoir d'une façon générale du mouvement du Réel(*).

La loi de l'auto-développement des systèmes biogéodynamiques est fondée sur les remarques suivantes. « Il apparaît qu'une « structure », aussi bien qu'un constituant pédologique, peut déterminer par lui-même une modification du milieu qui l'a créé. Et cette modification déterminera à son tour la prochaine structure et le prochain constituant formés dans ce milieu ». L'auteur ajoute : « On voit apparaître ici autre chose que la modification du sol sous l'influence des agents extérieurs : ce sont des phénomènes d'auto-développement ou d'auto-évolution avec des agents extérieurs constants. On décèle ainsi *un déterminisme de la différenciation pédologique par la différenciation elle-même* ». Plus précisément, ceci peut concerner les processus d'accumulation ou d'hydromorphie. « La distribution des constituants est liée à la dynamique de l'eau, en particulier aux conditions d'hydromorphie qui sont décelables morphologiquement. Le repérage géométrique montre alors que l'extension de certains constituants ou d'une certaine organisation coïncide avec celle de l'hydromorphie. Mais *l'extension de l'hydromorphie est elle-même déterminée par l'accumulation de certains constituants* comme des minéraux argileux qui, en limitant le drainage vertical et latéral, *créent cette hydromorphie* ». « Les accumulations réalisées *à l'aval influent à leur tour sur les altérations et les migrations amont*. Les différentes accumulations étudiées se réalisent dans un certain ordre... déterminé par le jeu de barrières géochimiques successives : *chaque accumulation constitue elle-même une barrière* pour les éléments ou les constituants immédiatement plus mobiles que ceux qui l'ont formée ». Le même processus de déplacement de la matière constitue trois organisations de base : l'organisation éluviale (à illuviation discontinue), l'organisation illuviale, l'organisation de transformation. « Ces trois types *successifs* d'organisation *dérivent l'un de l'autre* ».

Après avoir analysé le fonctionnement de séquences de dimensions réduites, l'auteur considère la distribution générale des sols dans les paysages tropicaux. Ceux-ci voient se modifier progressivement leur climat, du milieu équatorial humide au milieu tropical aride. Les mécanismes pédogénétiques restent fondamentalement les mêmes, caractérisés par le couple départ-accumulation de la matière. Pourtant *de nouveaux rythmes apparaissent dans la différenciation des sols.*

(*) Nous avons déjà fait allusion à des lois de la dialectique matérialiste. Rappelons encore que la première d'entre elles est dite « loi du passage du quantitatif au qualitatif ». S'opposant à la conception de modifications graduelles purement quantitatives, elle postule que, par accroissement ou par diminution d'intensité, l'évolution des phénomènes peut changer qualitativement, c'est-à-dire devenir autre. C'est exactement ce que G. BOCQUIER a démontré dans le cas des sols. Complémentaires de la première, la « loi de l'unité et de la lutte des contraires » et la « loi de la négation de la négation » annoncent le mouvement, les dépassements engendrés par les contradictions. En tant que moment d'une évolution, la « négation » devient l'acte créateur assurant le passage d'un état à un autre qualitativement différent. Ces lois invitent à décrire une Réalité fondamentalement dynamique, rythmée de discontinuités et de dépassements. C'est bien ainsi que G. BOCQUIER comprend la réalité pédologique.

« A l'échelle de la zone bioclimatique, *par la variation continue des conditions climatiques* en fonction de la latitude, chacun des différents types de sols de cette série évolutive deviendra, avec la latitude, successivement dominant ». « Si l'on examine maintenant à l'échelle du bassin tchadien comment varient sur la même roche-mère des séquences de même âge récent en fonction de la zonation climatique actuelle... les séquences sont toujours composées de sols ferrugineux lessivés, lessivés hydromorphes, planosols, solonetz solodisés et vertisols. Mais ce sont les proportions qui varient. Lorsque le climat devient plus humide et moins contrasté, les termes les plus humides et amont prennent la plus grande extension sur les versants ». Le principe de zonalité est à rectifier. « La dominance d'un type de sol dans un paysage en fonction du climat s'accompagne donc de la réduction des autres types ». « Ainsi, la succession bioclimatique (ou zonalité) qui est généralement observée avec l'aridité croissante : ferrugineux lessivés à vertisols, correspondrait donc à la dominance successive de ces différents termes dans les paysages ».

Il n'est pas besoin d'insister beaucoup sur *les discontinuités* que les interprétations précédentes font apparaître dans la dynamique des processus décrits : l'auteur a rempli son ouvrage de schémas en marches d'escalier. « A un moment donné, plusieurs types de barrière sont présents dans ces séquences : ils sont *échelonnés sur les marches successives* du front d'accumulation ».

Rappelons aussi, pour sa valeur méthodologique, l'importance donnée aux *notions d'échelles, de niveaux, de distributions scalaires* (*). « On vise à définir à diverses échelles et à relier entre elles les organisations pédologiques spécifiques qui composent ces toposéquences. L'arrangement des constituants du sol est donc analysé et décrit à plusieurs échelles d'observation ». Le texte abonde en précisions à ce sujet. Il note par exemple que « ces organisations s'expriment à plusieurs échelles de la séquence. Elles sont définies à l'échelle microscopique... mais elles confèrent également leurs caractères à deux unités d'organisation de plus grandes dimensions : à des ensembles d'horizons..., à des ensembles de structures d'accumulation ». La thèse de G. Bocquier n'est pas un travail de micromorphologie, de typologie, ou de géographie des sols, elle est le tout à la fois.

La seconde loi pédologique proposée par G. Bocquier peut s'intituler « *loi de la correction de l'auto-développement des systèmes biogéodynamiques par la dérive des facteurs externes* ». Elle « montre que le développement des sols n'est pas indépendant de tous les autres facteurs naturels de la biosphère. Les sols doivent être intégrés dans des systèmes naturels où interviennent toutes les variables de la biosphère ». « Dans de tels systèmes ces différents composants sont interdépendants ». A l'occasion de cas particuliers, ceci peut être précisé avec un peu plus de détails. « Ces deux séquences de sols sont considérées comme des ensembles naturels, des unités analogues de paysage. Elles résultent de la même dynamique de la matière... Mais ces successions de sols ne sont pas les seuls composants de l'unité naturelle de paysages intéressés par cette dynamique de la matière : il y a également les organismes vivants, la partie supérieure de la lithosphère et la partie inférieure de l'atmosphère. Et c'est — suivant le concept de B. B. Polynov — la circulation des atomes et de leurs composés qui relie ces différents composants du paysage en un seul ensemble biogéodynamique ». Voici donc retrouvée ici, de façon quelque peu détournée, cette prise en considération des *totalités* qui constitue un aspect majeur d'une pédologie devenue science dialectique. Le langage le rappelle aussi, par la répétition fréquente d'expressions telles que « milieux biogéochimiques », « évolution biogéodynamique », « système biogéodynamique » (**).

(*) Cette fois encore, nous nous trouvons devant des notions que les théoriciens de la dialectique matérialiste tiennent pour « essentielles » (31).

(**) L'absence du radical « pédo » dans ces expressions peut être interprétée de plusieurs façons. Faisant référence à d'autres sciences, il est possible que les radicaux « bio » et « géo » y gagnent, aux yeux de spécialistes des sols, un certain attrait. On peut soutenir aussi que le sème « pédo » est défini par son inclusion dans la totalité « bio-géo ».

Conclusion Les pages précédentes laissent peut-être encore subsister une ambiguïté. Pour une science de la Nature, la dialectique représente-t-elle une méthode ou une certaine vision de la réalité ? A l'occasion de la première étude présentée, celle de P. H. NYE, l'accent a été mis sur la méthodologie. Celle-ci consistait à réunir tous les paramètres constitutifs d'une totalité. A propos de la seconde étude, nous avons abandonné quelque peu cet aspect pour insister sur la conception générale d'une réalité foncièrement dynamique, génératrice de changements et de discontinuités, telle que G. BOCQUIER l'a exprimée. Ces deux exemples ont été choisis pour le montrer : à l'une et l'autre des questions précédentes, il faut répondre par l'affirmative. La pédologie devenue science dialectique se caractérise *par sa méthode* et *par ses concepts*.

Génétiste et historiciste, la pensée pédologique traditionnelle s'est jusqu'à présent limitée trop souvent à des démarches réductionnistes, atomistiques, sélectives. Pour se renouveler dans le sens que nous essayons de décrire, elle rencontre bien des obstacles. Il sera toujours malaisé en effet d'appréhender véritablement les totalités pédologiques, alors que l'on sait la multiplicité des facteurs à considérer. Dans le cas de l'étude de G. BOCQUIER que nous proposons pourtant comme un exemple à suivre, les actions biologiques ne sont pratiquement pas analysées. La thèse « bio-géo-dynamique » serait dans ce cas peut-être plus justement dite thèse « pédo-géodynamique ». Ajoutons à ceci que les changements d'échelle de travail, les passages réciproques entre systèmes d'ordre inférieur et systèmes d'ordre supérieur sont des opérations délicates. La pédologie, en tant que science dialectique, n'est pas faite de facilité.

RETOUR VERS LE PROBLÈME GÉNÉRAL DE LA CONNAISSANCE

Il est parfois utile de situer une épistémologie régionale dans une perspective très élargie. Cela a été fait une première fois pour définir les options de départ de la science du sol par rapport à la dualité fondamentale du réalisme et du nominalisme. Les orientations qui se font jour actuellement sont plus difficiles à cerner que les pratiques du passé. Elles aussi pourront être clarifiées par leur rattachement à des idées très générales. La pédologie, science dialectique telle que les paragraphes précédents ont tenté de l'esquisser, est cautionnée par un système épistémologique et philosophique clairement désigné. Pour présenter le deuxième volet de la nouvelle dualité offerte à la science du sol, nous ferons d'abord retour au problème général de la connaissance. Est-il besoin de le dire, ce sera pour n'en retenir que les quelques éléments utiles à l'enchaînement de nos propos.

Une solution psychologiquement confortable pour l'homme de science qui s'interroge sur les mécanismes de ses découvertes consiste à les attribuer tout simplement à son génie. Sous le maquillage d'une terminologie pompeuse, cela peut prendre les apparences d'une doctrine sérieuse. C'est ainsi que A. COURNOT (*), mathématicien et épistémologue avant la lettre, a présenté comme un « transrationalisme » ces entreprises de l'homme « doué par moment d'un instinct supérieur », « illuminé de clartés soudaines ». Un autre mathématicien, H. POINCARÉ (**), pensait de même. « La pensée n'est qu'un éclair au milieu d'une longue nuit ». Avec complaisance il a raconté (***) toutes les circonstances personnelles de son invention

(*) Cité par BAYER (R.) - 1954 - Épistémologie et logique depuis Kant jusqu'à nos jours. P.U.F. 369 p.
(**) POINCARRÉ (H.) - éd. 1948 - La valeur de la science. Flammarion, 250 p.
(***) Cité par TATON (R.) - 1955 - Causalités et accidents de la découverte scientifique. Masson, 171 p.

des fonctions fuschiennes, pour conclure enfin « on conçoit que ce sentiment, cette intuition de l'ordre mathématique qui nous fait deviner des harmonies et des relations cachées, ne puisse appartenir à tout le monde », « on nait mathématicien, on ne le devient pas ». Cette naïveté pleine de suffisance fait actuellement sourire. Il est inutile de s'attarder à dénoncer son idéalisme philosophique puéril et son racisme latent.

La psychologie de la créativité scientifique reste pourtant difficilement explorable. Héritier de l'intuitionisme bergsonien, G. BACHELARD (4) lui aussi a glorifié largement l'esprit scientifique, en l'opposant à d'autres formes de pensée (*). C'est dans « Le Matérialisme Rationnel » que BACHELARD s'est exprimé à ce sujet avec le plus de vigueur. Ayant donné bien des exemples de « pensée préscientifique », n'a-t-il pas conclu « entre la connaissance commune et la connaissance scientifique la rupture nous paraît si nette que ces deux types de connaissance ne sauraient avoir la même philosophie ». « Si l'homme pense la science, il se renouvelle en tant qu'homme pensant ». BACHELARD ne s'en tient pas, comme COURNOT ou POINCARÉ, à un recours trop facile à l'intuition. La leçon principale de son épistémologie n'est pas là. Elle est centrée sur la notion de l'« obstacle épistémologique » et sur celle de son dépassement lors d'une coupure ou d'un saut épistémologique. L'obstacle est constitué par la connaissance commune, par les croyances préscientifiques, par les savoirs à réformer. C'est le jeu d'une dialectique rationaliste résolument engagée dans la « philosophie du pourquoi pas » qui détermine la coupure. Selon BACHELARD, « on connaît contre une connaissance antérieure », « on pense le vrai comme rectification ». L'épistémologie apparaît « par essence, et non par accident, en état de crise », et la science devient « une révolution continuée ». En prolongeant cet enseignement, T. S. KUHN (60) (**) a cherché à préciser les conditions de cette coupure épistémologique que lui dénomme une « révolution scientifique ». Elle ne se produit que lorsque la science normale se trouve en état de crise, lorsque son paradigme se trouve gravement compromis par une anomalie. Toutefois, il existe bien des anomalies qui ne provoquent pas de révolution. Il ne semble pas que l'auteur soit parvenu à montrer clairement les mécanismes qui permettent de surpasser certaines crises scientifiques.

Nous avons toutefois beaucoup progressé. Avec COURNOT et POINCARÉ, l'invention scientifique paraissait suspendue à une intuition géniale. Avec BACHELARD puis KUHN, elle devient déjà beaucoup plus dépendante d'un travail, fait de concepts dialectisés, mettant en jeu un paradigme structuré. On ne peut quitter BACHELARD sur des évocations aussi rapides sans rappeler la richesse de ses réflexions. Il est probable que sa compréhension s'est étendue bien au delà de ce qu'il a cru devoir expliquer le plus clairement et avec le plus d'insistance. Peut-être aurait-il accepté certaines solutions de l'épistémologie structuraliste, mais ce n'est pas ici le lieu d'en discuter.

L'épistémologie structuraliste que nous consulterons maintenant est celle développée par N. MOULOUD (70). L'auteur se situe lui-même très bien par rapport aux problèmes de l'hypothèse et de l'intuition créatrice tels que les hommes de science se les posent. « Ainsi l'agent moteur de la recherche cesse d'être l'hypothèse appuyée sur des vraisemblances intuitives et tournée directement vers l'expérience. L'initiative appartient désormais à la pensée structurale,

(*) Les perspectives changent si l'on considère aussi les recherches de BACHELARD sur l'imagination postérieures à ses travaux d'épistémologie. On peut dire alors qu'il s'est employé à « effondrer le mur que les intellectuels ont édifié durant des siècles entre les arts et les sciences, entre le rêve et la raison, entre l'imagination et l'intelligence ». Cf. GINESTIER (P.) - 1968 - Pour connaître la pensée de Bachelard. Bordas, 223 p.

(**) Physicien à l'origine, KUHN cite KOYRÉ, MEYERSON, PIAGET et WHORF parmi les auteurs qui l'ont conduit à l'épistémologie. Ayant lu des auteurs de langue française comme les trois premiers, il est curieux qu'il n'ait pas connu BACHELARD à qui il paraît devoir beaucoup, mais il ne le mentionne pas. La complémentarité de leurs travaux peut être soutenue a posteriori. Mais les auteurs américains suivent KUHN, et ignorent BACHELARD.

qui développe ses propres connexions sur le plan formel sans cesser de serrer de près les traits de l'articulation du réel ». Les sciences axiomatico-structurales reconnues par MOULOUD lient le plus formel et le plus concret, les énoncés rationnels et les énoncés expérimentaux. C'est vers leur statut que tendent les sciences expérimentales et appliquées elles-mêmes. Pour commenter ces nouvelles visées épistémologiques, M. CAVEING (22) s'est exprimé à son tour en des termes qu'il nous suffit de reproduire, tant ils semblent adaptés à ce que nous voulons retenir. « Aussi bien N. MOULOUD s'attache-t-il à montrer que la découverte n'est pas acte pur et imprévisible de la conscience, qu'elle est solidaire de ses moyens techniques. L'emploi des signes ne lui est pas postérieur. Les symboles, les formulaires, les codes, les procédés normés sont porteurs en eux-mêmes de suggestions novatrices. L'invention est inséparable du maniement technique de ces combinatoires et c'est à bon droit qu'une philosophie de la rationalité récuse les doctrines de l'intuition pure et le psychologisme. La pensée qui découvre et innove n'est pas un voyageur sans bagage. L'invention est au bout d'un voyage qui atteste sa rationalité par l'emploi de signes et d'instruments selon les règles et dont une part est consacrée au perfectionnement de cet appareil lui-même. En outre la pensée des structures ne disjoint pas les raisons d'ouverture des systèmes de leurs raisons de clôture, et l'opposition entre la logique qui prouve et l'intuition qui découvre n'est pas pertinente. L'axiomatisation qui resserre les conditions d'énonciation est aussi ce qui dévoile des horizons inexplorés. L'invention n'est pas justiciable d'une psychologie, mais d'une dialectique interne à la symbolisation, à l'axiomatique et à la formalisation des contenus objectifs. De ce point de vue, la syntaxe oriente la pensée vers des sens nouveaux, annonce des possibles et déborde les acquis du savoir. Si le langage de la science est remodelé en permanence, c'est sans doute pour enregistrer la progression du savoir, mais en même temps il acquiert de nouvelles capacités et devient instrument de prospection pour des découvertes ultérieures ».

Au terme de ce retour vers le problème général de la connaissance, il ne s'agit pas d'affirmer que l'épistémologie de N. MOULOUD doit être tenue pour définitive et suffisante. Il nous suffit qu'elle ait focalisé l'attention sur une dynamique applicable à ce domaine encombré de données interdépendantes que constituent les sciences du sol. Celles-ci ne peuvent progresser seulement par des jeux dialectiques intuitifs, aussi subtils soient-ils. Ici comme ailleurs, suivant l'expression de MOULOUD, « tout concept doit trouver sa place et son ordre dans une tectonique complète ». Ce sont les moyens que la pédologie élabore pour dresser cette tectonique qui seront considérés dans les pages suivantes.

LA PÉDOLOGIE, SCIENCE AXIOMATICO-STRUCTURALE

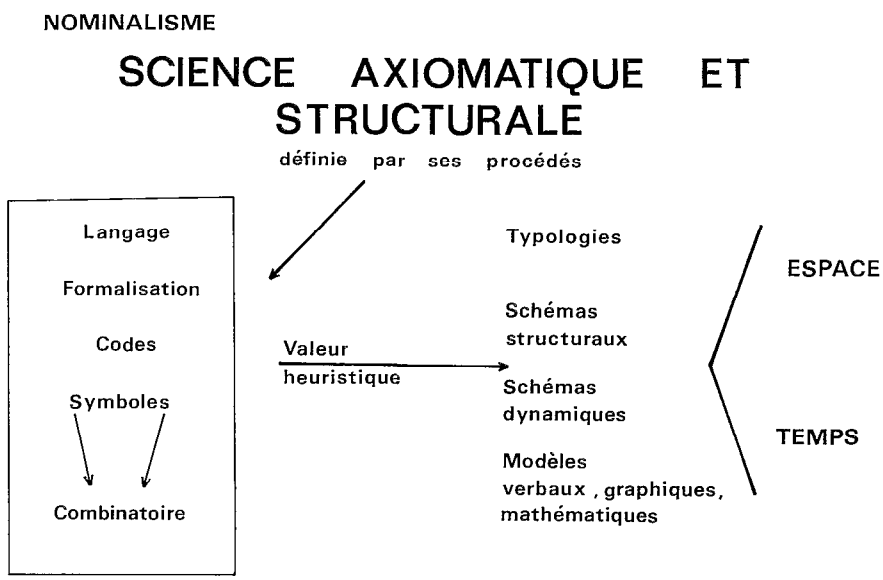
Formalisation à la naissance de la science

Il est généralement admis que la science du sol a pris son véritable départ avec les travaux de V. V. DOKUCHAEV. Mais les hommes de science plus anciens que DOKUCHAEV et qui peuvent être présentés eux aussi comme des fondateurs sont assez nombreux. Les arguments ne manquent pas pour défendre la justesse de leurs vues. Suivant J. BOULAINE *(op. cit.)*, « une tentative originale dans laquelle sont en germe presque toutes les notions de la pédologie actuelle fût faite en Pologne vers 1765 par un français, M. de RIEULE ». A la même époque, M. V. LOMONOSOV publiait son ouvrage « The earth strata » que D. G. VILENSKII *(op. cit.)* considère actuellement comme un travail vraiment scientifique. C'est à A. Von HUMBOLT que S. A. WILDE (*) songe comme

(*) WILDE (S. A.) - 1963 - In memory of the founder of pedology, baron Alexander von Humbolt. *Soil Science*, 96, 2, pp. 151-152.

le véritable fondateur de la science du sol. Ce serait lui qui aurait introduit la thèse fondamentale de la dépendance du sol envers l'environnement et les agents biologiques. Résumant des réflexions qui ont débuté en 1789 lors d'un voyage dans les Andes, HUMBOLT s'est exprimé ainsi. « There is an harmony in nature, an invisible harmony... Find a certain type of soil and a certain type of plant and you will find a certain type of rock. And it is the same with plants. They are related to their soil, their climate, their altitude ». Un autre pionnier a été découvert par B. T. BUNTING (*). Il s'agit de J. MORTON qui a donné dès 1838 une assez étonnante étude des sols anglais. Bien des concepts modernes peuvent être retrouvés dans son texte intitulé « On the nature and properties of soils ». A travers les citations faites par BUNTING, il apparaît que MORTON a compris que les sols sont influencés par le climat, par les formations géologiques, par la situation topographique, par l'état du drainage, par les façons culturales.

TABLEAU 17



Il serait superflu d'interroger davantage les anciens textes. Très certainement, bien des hommes de science du XIX^e^ et même du XVIII^e^ siècle sont parvenus à des principes que la science moderne devait consacrer par la suite. Ajoutons même que ces précurseurs disposaient des moyens pratiques de poursuivre leur démarche, ne serait-ce que par l'observation visuelle et tactile. La connaissance des roches était déjà fort avancée à l'époque, il n'aurait pas été plus ardu de constituer une vraie science des sols. Nous dirons qu'*une problématique* avait été clairement formulée pour celle-ci, par la reconnaissance des conditions de genèse des sols, par l'identification du rôle des sols dans les productions végétales. Plus tard DOKUCHAEV a relancé les mêmes notions. Mais à cette problématique, il a joint *les premiers moyens de formalisation* indispensables à de bons développements scientifiques. Il a permis de transposer et de traiter la réalité perçue en définissant les sols comme *des corps indépendants*, en inventant *le profil*, *les horizons*, *et leur notation* par lettres et chiffres.

(*) BUNTING (B. T.) - 1964 - Pioneers of soil science - A British view. *Soil Science*, 97, 5, pp. 358-359.

Avec cette problématique, et autour de ces premiers moyens de représentation, une science s'est développée. Les premières formalisations pédologiques paraissent actuellement bien rudimentaires. Nous essaierons de recenser celles qui leur font suite.

Formalisation de l'espace pédologique

Le *profil* et les *horizons* ont constitué pendant longtemps les moyens essentiels de formalisation de l'espace pédologique. Axe principal de différenciation, correspondant à cette « anisotropie verticale » dont parle H. JENNY (57), le profil est essentiellement linéaire. A vrai dire il n'a guère donné de formalisations originales, servant plutôt de schéma directeur à la description ou à l'assemblage des divers horizons. Ceux-ci, identifiés essentiellement par l'analyse macro-morphologique de terrain, désignés par les notations A, B, C et leurs symboles complémentaires, n'ont pas reçu de dimensions latérales précises dans leurs définitions primitives. Le continuum pédologique s'est trouvé ainsi très maladroitement représenté. Il a été tenté, avec le concept de *pédon*, de donner aux formalisations les trois dimensions qui sont évidemment celles des sols. Beaucoup de pédologues ont reproché à ce nouveau concept d'être très artificiel sinon inapplicable, et de ne pas pouvoir de toute manière rendre compte des différenciations latérales à l'échelle des séquences.

Les horizons, le profil ou son substitut le pédon, ne sont plus maintenant les uniques structures d'usage courant dans l'étude des sols. *Toute typologie*, par la formalisation verbale ou symbolique de figures et de corps ayant des dimensions, apporte certains moyens de dresser *une topologie*, c'est-à-dire une représentation de l'espace pédologique. Celui-ci est très étendu. Sur le simple plan de la formalisation, il paraît utile de rythmer cet espace par plusieurs *structures-relais*. En fait, celles-ci n'ont pas à être arbitraires. Il existe dans les sols suffisamment de différenciations, de niveaux d'organisation intrinsèquement différents, pour leur servir de support. L'espace pédologique peut être compris, et représenté, comme une série de *structures emboîtées*.

Quelles sont ces structures ? En suivant l'ordre des dimensions croissantes apparaissent d'abord celles dites micromorphologiques, dont l'étude se généralise depuis plusieurs années. Parmi elles seront mentionnés par exemple plasmas et squelettes, micro-agrégats et cutanes, etc. Un niveau plus élevé d'organisation fait apparaître des corps figurés comme les concrétions, les nodules, les agrégats, etc. Les horizons peuvent être présentés ensuite. Ils se prêtent à des structurations d'ordre plus ou moins élevé suivant qu'il s'agit d'horizons de diagnostic pour des critères particuliers, d'horizons majeurs ou de sous-horizons, etc. A un niveau plus élevé se placent le sol considéré comme profil ou comme pédon, puis le profil-régional, le type de sol, la toposéquence ou l'unité dynamique, etc.

Quelques soient leurs options épistémologiques, la plupart des spécialistes des sols travaillent à ces différents niveaux et passent de l'un à l'autre, dans leurs observations, ou lors de leurs raisonnements. Mais l'on ne dira que la pédologie est devenue *une science structurale* que dans la mesure où elle disposera d'*un traitement commode sur le plan formel*, permettant d'identifier ces différentes organisations puis d'établir leurs rapports de juxtaposition, d'inclusion, de hiérarchisation, de dépendance, etc. Actuellement encore, les moyens utilisés pour cela sont essentiellement ceux du *langage*, avec le complément de diverses *symbolisations*. Ces moyens ont été considérés à l'occasion de l'examen du lexique pédologique, avec une attention particulière pour le cas des sols ferrallitiques qui nous sert habituellement d'exemple principal. Lorsque nous avons présenté un groupe terminologique comme le résultat d'une tentative de réunification du langage, cela voulait dire, en d'autres termes, que nous lui prêtions cette aptitude à *donner des formalisations d'ordre plus ou moins élevé*, et en d'autres termes encore, à *décrire des structures pédologiques emboîtées*. Si l'on considère, au-delà du cas des sols ferrallitiques, tous les ensembles typologiques et terminologiques qui sont apparus ces dernières années, il semble que la science du sol dispose maintenant d'assez bons moyens de formalisation. *Il reste à les mettre en œuvre.*

L'espace pédologique est représenté par un document particulier, qui est *la carte des sols*. Il est certain que celle-ci constitue des structures originales en dessinant des limites entre ses unités. Mais dans une certaine mesure, la carte n'est elle-même qu'*une superstructure sur le plan formel*. Sa légende est en effet composée à partir de certaines entités, qui sont généralement de nature classificatrice. Il est curieux que l'on se plaigne parfois que les unités cartographiques soient *une représentation infidèle d'une réalité connue*. Cela provient sans doute de cette obligation dont nous avons déjà parlé de faire référence à des unités taxonomiques, elles-mêmes constituant une image de profils linéaires. Beaucoup de difficultés de la cartographie pédologique disparaitraient probablement si l'on savait faire appel à des structures typologiques et spatiales adaptées, incluant une certaine différenciation ou variabilité. Ici aussi, les progrès à accomplir sont encore nombreux.

Formalisation du temps pédologique

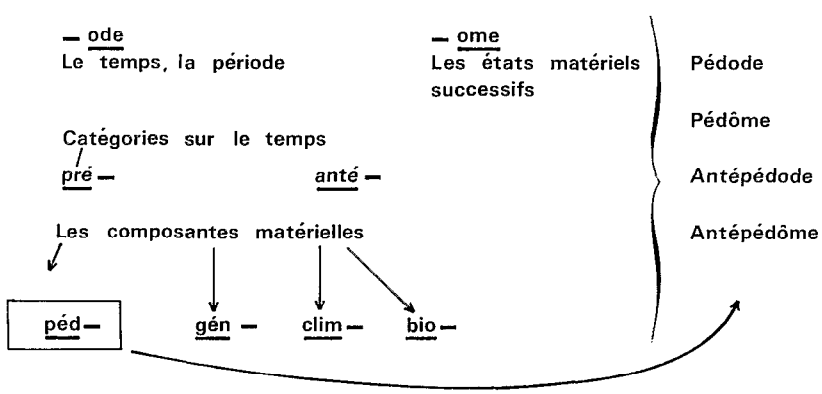
Le temps est l'un des cinq facteurs généraux de pédogenèse habituellement reconnus. Il est effectivement considéré dans beaucoup d'études de pédologie générale, lorsque des repères chronologiques peuvent être établis, et plus encore dans les études de dynamique actuelle où l'on suit le déroulement immédiat de certains processus. Cependant les mentions qui sont faites à son sujet sont très discrètes dans la littérature pédologique où n'existe rien de comparable, toutes proportions gardées, avec par exemple l'échelle du temps et la stratigraphie de la science des roches. Le vocabulaire se contente de faire apparaitre les termes imprécis évoquant la jeunesse ou la vieillesse des sols, ainsi que nous l'avons vu.

L'espace pédologique a bénéficié de multiples opérations de formalisation, si l'on considère ainsi tous les travaux typologiques et cartographiques mentionnés plus haut. Par contre nous ne trouvons à citer qu'une seule tentative d'établissement d'*un système cohérent de représentation du temps pédologique*. Il s'agit de propositions faites par J. BOULAINE (16) auxquelles nous voudrions donner, en raison de leur nouveauté et de leur originalité, *une importance considérable*.

TABLEAU 18

UNE STRUCTURE LINGUISTIQUE POUR LA FORMALISATION DU TEMPS PÉDOLOGIQUE

(d'après J. Boulaine 1969)



Le système de J. BOULAINE est organisé autour des concepts de pédon et de genon :

— *le pédon*, suivant la définition de l'auteur, est « le volume élémentaire nécessaire et suffisant pour définir à un instant donné l'ensemble des caractères structuraux et des constituants matériels du sol ». Il faut lui associer le *péripédon*, « volume de la pédosphère entourant le pédon et dans lequel se produisent des phénomènes qui affectent la dynamique de celui-ci », le *climon*, « état de l'atmosphère au-dessus du pédon », et le *bion*, « ensemble des êtres vivants associés à un pédon ».

— *le genon*, correspond au « volume du sol comprenant tous les pédons possédant la même structure, les mêmes caractéristiques et résultant de la même pédogenèse ».

Ces premières entités définissent un espace pédologique. Les suivantes font une référence directe *au temps* ou, ce qui revient au même, *à une succession d'états :*

— *la pédode*, est la « période nécessaire et suffisante pour définir la dynamique d'un pédon ».

— *le pédôme*, est « l'ensemble des états successifs du pédon pendant la pédode ».

— *la biode*, correspond à la « période nécessaire et suffisante pour définir la dynamique de la biomasse associée au pédon ».

— *le biôme*, est défini comme « ensemble des états successifs du bion pendant la biopédode ».

— *la climode*, est la « période suffisante pour définir les états de l'atmosphère en un lieu ».

— *le climôme*, est « l'ensemble des états successifs du climat pendant la climode ».

— *l'antépédôde*, est la « période pendant laquelle a eu lieu l'évolution du sol ».

— *l'antépédôme*, est « l'ensemble des états successifs des matériaux et du sol pendant l'antépédode ».

— *le métapédôme*, est « l'ensemble des états successifs du sol pendant l'antépédode ».

— *la prépédode*, correspond à la « période d'évolution pendant laquelle le sol est soit un sol minéral, soit un sol peu évolué ».

— *la génode*, se définit comme « période nécessaire et suffisante pour définir la dynamique actuelle d'un genon ».

— *le génôme*, enfin, désigne « l'ensemble des états successifs du genon pendant la génode ».

Il nous semble que se trouve ainsi définie toute *une problématique* pour une étude des sols résolument dynamique, c'est-à-dire liée au temps. Le vocabulaire spécialisé propose une amorce de formalisation. Il doit en être ici comme pour toutes les terminologies instituées globalement. Les mots servent d'abord à fixer les concepts, ils doivent ensuite attirer de nouvelles expressions caractérisant les situations qu'ils laissent prévoir. Ainsi se constituent des formulations denses, que l'on doit tenir pour *des formalisations*. Rien n'interdit d'ailleurs de prévoir aussi de nouveaux modes de formalisation. Le système proposé par J. BOULAINE est potentiellement riche de nombreux développements.

Les systèmes et leurs modèles

Formulée par L. Von BERTALANFFY (8), la « théorie générale des systèmes » (T. G.S.) s'applique à des domaines scientifiques de plus en plus nombreux. Il est facile de prévoir sur de simples considérations épistémologiques, comme nous l'avons fait dans un chapitre antérieur, qu'elle finira par atteindre la science du sol, et que ce sera pour y introduire de profonds bouleversements. Suivant le créateur de la T.G.S., « un *système* peut être défini comme un complexe d'éléments en interactions ». Il s'agit donc d'une notion assez vaste pour être applicable aux sols. Ceux-ci en effet sont

des « corps organisés » dont les différentes parties sont liées par des interdépendances multiples. Si l'on considère les sols insérés dans leur milieu génétique, la constitution d'un système est encore plus apparente. Ceci a été exposé notamment par J. SCHELLING (89), pour qui les sols sont des « systèmes ouverts », par référence explicite à la T.G.S. La notion de « *modèle* » est inséparable de la précédente : un modèle se présente comme une simplification ou comme une abstraction du système qu'il représente. BERTALANFFY conçoit la T.G.S. comme la « grammaire générale des sciences ». Douée d'une aussi large portée, celle-ci doit être accueillante et cautionnera donc des pratiques diverses. « Les avantages des modèles mathématiques sont bien connus : termes précis, possibilité de déduction stricte, vérification grâce à des données observées. Cela ne signifie pas qu'il faille mépriser ou rejeter les modèles formulés en langage ordinaire. Un *modèle verbal* est meilleur que pas de modèle du tout ou qu'un modèle plaqué, sous prétexte qu'on peut le formaliser mathématiquement, qui fausse la réalité ». Les *groupes terminologiques* destinés à la représentation de l'espace et du temps pédologiques examinés dans les paragraphes précédents se trouvent donc légitimement *associés aux méthodes de modélisation* des systèmes.

« Pedology as a science : the role of data, models and theories in the study of natural soil systems ». Le programme ainsi exposé par J. C. DIJKERMAN (32) est clair, et il mérite que l'on s'attarde à considérer les termes choisis pour le présenter. Pour l'auteur, il s'agit donc de constituer une *science* pédologique basée sur les notions de *systèmes* et de *modèles*. Si l'ancienne pédologie ne se trouve sans doute pas totalement récusée, il faut au moins la *reformuler*. Beaucoup de ses concepts entrent sans difficulté dans la nouvelle sémantique. Le trivial échantillon destiné à l'analyse devient un modèle concret d'observation, destiné à la représentation d'une réalité trop grande. Les séquences pédologiques théoriques sont à prendre pour les modèles idéalisés de l'action de certains paramètres. Le sol lui-même se trouve redéfini. Il constitue un système ouvert, parcouru par des flux d'énergie, de fluides, de particules. Ces quelques cas de nouvelles formulations sont proposés ici comme exemples. D'une façon beaucoup plus générale, DIJKERMAN établit un catalogue des divers types de modèles que la pédologie emploie, ou devrait employer. Il existe des *modèles concrets*, tels que les colonnes de terre employées pour des simulations de laboratoire, et des *modèles conceptuels*. Parmi ceux-ci, l'auteur accepte les modèles *mentaux* qui sont des images ou des idées plus ou moins consciemment utilisées, et les modèles *verbaux* qui restent purement qualitatifs et servent à décrire par exemple les additions, pertes, déplacements, transformations de matière. La préférence est évidemment accordée aux modèles *structuraux* ou *mathématiques*. Les premiers peuvent être des cartes, des schémas ou diagrammes représentant profils et séquences. Toutes les relations mathématiques établies par la science du sol sont rangées dans les seconds. Ce sont les seuls à être vraiment quantitatifs. Ils sont très souvent de nature statistique. Comme exemples de modélisation mathématique ou cybernétique, DIJKERMAN a cité plusieurs études (*, **, ***). Leurs titres sont en eux-mêmes suffisamment explicites.

La démarche suivie par R. J. HUGGETT (53) est comparable à la précédente. Elle consiste à *repenser la pédologie en termes de systèmes et de modèles*. Les définitions du sol de plusieurs auteurs, H. JENNY (57), R. W. SIMONSON *(op. cit.)*, E. C. A. RUNGE (****), sont considérées en fonction de leur mathématisation possible. A son tour, l'auteur tente de traiter par la cybernétique

(*) De WIT (C. T.), Van KEULEN (H.) - 1972 - Simulation of transport processes in soils. Pudoc, Wageningen, 100 p.

(**) DUTT (G. R.) *et al.* - 1972 - Computer simulation model of dynamic biophysicochemical processes in soils. Tucson, Univ. of Arizona, *Agr. Exp. Sta., Techn. Bull.*, 196, 101 p.

(***) KLINE (J. R.) - 1973 - Mathematical simulation of soil-plant relationships and soil genesis. *Soil Science*, 115, pp. 240-249.

(****) RUNGE (E. C. A.) - 1973 - Soil development sequences and energy models. *Soil Sci.*, 115, pp. 183-193.

le flux théorique de la matière dans les systèmes paysagiques de sol (soil landscape system). Pour un type de relief donné, et en adoptant certaines simplifications sur les caractères de la substance en transit et sur ceux des matériaux de départ et de réception, l'ordinateur calcule les nouvelles répartitions de la matière en fonction du temps. C'est le sol d'une façon très générale qui reçoit ainsi une nouvelle formulation grâce à ces systèmes paysagiques. Ceux-ci peuvent être décomposés en sous-systèmes correspondants au squelette du sol, à son plasma, à ses solutions, etc. Le bilan d'énergie et de matière s'exprime en entrées (input) et en sorties (output). On peut espérer en perfectionnant cette méthodologie parvenir à simuler *le comportement des systèmes paysagiques* et à prédire leur évolution.

De même que l'auteur précédent, D. H. YAALON (101) *a reconsidéré les différentes tentatives de modélisation* faites à la suite de H. JENNY pour les lithofonctions, topofonctions, climofonctions, biofonctions et chronofonctions. Il reconnait l'impossibilité de donner à une fonction générale de formation des sols des solutions quantitatives simples. Ce n'est qu'un premier pas vers une solution générale qui est accompli par des collections de fonctions univariables ou par des fonctions à régression multiple.

Conclusion Les moyens de formalisation présentés plus haut, et plus spécialement les modèles tels que les conçoit la T.G.S., sont adaptés à traduire une réalité pédologique complexe et dynamique. C'est d'ailleurs ce que laisse prévoir BERTALANFFY pour qui « le problème central de la Science moderne est l'interaction dynamique en tous les domaines de la réalité ». Toujours selon lui, le problème ainsi formulé relève de la théorie des systèmes. Revenant au cas qui nous occupe, on peut donc se demander pourquoi nous avons distingué une pédologie dialectique et une pédologie structurale. Il semble que l'une et l'autre prétendent saisir des totalités ou des systèmes complets, et qu'elles considèrent les sols sous leurs aspects dynamiques. Notre distinction repose pourtant sur plusieurs raisons.

La pédologie, science dialectique, ne refuse évidemment pas les symboles, les formalisations, les relations mathématiques, mais elle ne leur accorde pas une importance primordiale. Dans l'ouvrage de G. BOCQUIER par exemple, en dehors de nombreux schémas établis par l'auteur lui-même, les moyens de formalisations paraissent assez réduits. Ils comprennent seulement un lexique micromorphologique, des notations adaptées du type A, B, C et les noms donnés à quelques grands types de sol. Des faits à la théorie, le passage est pratiquement direct. C'est sur une information proche de l'état brut, telle que la livrent les observations morphologiques et les déterminations instrumentales, et autant par intuition que par déduction stricte, que se bâtit la théorie. Au contraire, la pédologie en tant que science axiomatico-structurale, impose un écran, *une médiation entre l'information primaire et les niveaux les plus élevés de l'élaboration scientifique.* Grâce à la généralisation des formalisations, à ces niveaux élevés se présenteront de véritables « synthèses », et non seulement des « théories » avec tout ce que celles-ci comportent de subjectif.

Dans ces conditions nouvelles, il devient impossible de tisser les faits et les hypothèses en une même trame ambiguë. Une science axiomatico-structurale affirme de grandes *exigences de rigueur.* Cela apparaît très bien dans le texte de J. C. DIJKERMAN par exemple. L'auteur rappelle notamment les principes généraux de la métrologie, il souligne que les théories de la science du sol sont généralement non-formelles et qu'il en est très peu qui puissent être tenues pour l'expression de véritables « lois », au sens fort de ce terme.

Enfin, malgré les convergences déjà notées, la science des totalités et la science des systèmes restent séparées par des options fondamentales qu'il faut rappeler. Une Totalité appartient au Réel. Un Système n'est qu'un ensemble de Signes. Science dialectique, la pédologie

relève du réalisme. Les mécanismes qu'elle expose sont pris pour ceux des sols eux-mêmes. Science structurale, ne prétendant plus à une compréhension intime de la nature, elle se satisfera d'établir le « comme si » des phénomènes. Pour la théorie des systèmes, les organismes se trouvent assimilés à des ensembles de signes. La réalité prend la structure du message censé la représenter. Une *nouvelle dualité épistémologique* s'offre donc à la science du sol. L'avenir jugera des valeurs comparées de l'une et l'autre option, ou montrera peut-être le succès d'un va-et-vient entre des positions en fait plus complémentaires qu'opposées.

Histoire des sciences et épistémologie sont étroitement liées, sinon confondues, dans les perspectives adoptées par G. Bachelard (4) et après lui par G. Canguilhem (21) et de nombreux auteurs. Suivant les termes de Bachelard lui-même, la démarche à suivre doit être récurrente. *Cela signifie qu'elle prend pour point de départ les concepts du moment, parce qu'ils sont les seuls à permettre un jugement de valeur sur d'autres états de la connaissance scientifique. Remontant le cours de l'histoire, l'analyse progresse en situant les concepts anciens par rapport à ceux qui les remplacent, en montrant le surgissement de la science nouvelle à travers les obstacles créés par la science antérieure.*

UNE ÉPISTÉMOLOGIE RÉCURRENTE

Nous avons entrepris une analyse historique analogue, pour le domaine très limité qui est le nôtre, à l'occasion d'un premier ouvrage (25) puis dans celui-ci. Il nous est apparu nécessaire de situer la science du sol par rapport à deux notions fondamentales et anciennes, philosophiques autant qu'épistémologiques, qui sont celles du réalisme *et du* nominalisme. *Les options prises par la science du sol débutante, dans le contexte particulier de la fin du XIX*e *siècle, les orientations qu'adoptèrent par la suite diverses écoles, ont été décrites par rapport à cette dualité. Dans le cas de l'école française de pédologie, un réalisme épistémologique soustend la* pensée génétique *caractéristique de la plupart des travaux. Valeur et aussi faiblesse de cette pensée génétique ont été soulignées, notamment un recours trop fréquent à l'hypothèse et une grande variabilité des interprétations.*

***

OU RÉTROSPECTIVE

Pratiquée à l'intérieur de la science par les chercheurs eux-mêmes, et non comme pouvaient le faire Bachelard ou Canguilhem en tant que discipline autonome, l'épistémologie ne peut rester indéfiniment « récurrente ». Lorsqu'elle se constitue au-delà de l'acquis bachelardien, peut-être vaudrait-il mieux dire qu'elle est tout au plus rétrospective. *Par ce terme nous entendons représenter un regard dirigé non seulement vers le passé mais aussi, dans l'espace contemporain, vers les travaux immédiatement accessibles et même vers les recherches en cours. C'est dans la science du sol* actuelle *plus que dans celle du passé que nous avons tenté l'examen de la méthode, du raisonnement, du langage.*

Une double fonction,

La fonction critique *de l'analyse épistémologique est la plus apparente. Elle se double pourtant toujours d'une* fonction créatrice *se manifestant à plusieurs niveaux. C'est par l'épistémologie générale ou par la philosophie que la fonction critique peut être exploitée. La seconde au contraire, que nous désignons comme fonction créatrice, fait retour à la science elle-même. En quelques mots, quels acquis inscrirons-nous en face de cette nouvelle dualité ?*

La méthode *pédologique nous est apparue (fonction critique) caractérisée par la pluralité de ses pratiques, qui vont de l'observation comparative jusqu'à l'expérimentation vraie. Ceci conduira (fonction créatrice) à donner à chaque pratique un certain coefficient de fiabilité ou de certitude, à définir les meilleures voies méthodologiques. Au niveau du* raisonnement, *la fonction critique montre comment se constituent syntagmes homogènes et syntagmes complexes. La fonction créatrice*

consistera à mieux préparer les chercheurs à la manipulation des faits, hypothèses, théories. Elle préparera ensuite une topologie du savoir, dans laquelle se dessineront des relations de dépendance, des lignes de force, des zones de faiblesse. Quant au langage, *il est envisagé (fonction critique) d'abord par son lexique, dont il faut connaître l'origine, le degré de spécialisation, la distribution sémantique. Il est essentiel aussi de voir qu'il est chargé de valeurs émotionnelles et esthétisantes, qu'il est le support implicite d'une certaine épistémologie. Ensuite peuvent être définies (fonction créatrice) les règles de la formation et de l'utilisation d'un langage scientifique efficace, possédant notamment les garanties d'objectivité nécessaires.*

critique et créatrice

L'analyse historico-critique, avons-nous dit, a situé la science du sol face à ses paradigmes de départ. Elle aussi se double d'un apport constructif qui consiste à déconditionner *les spécialistes des sols, pour les couper de traditions épistémologiques qui les entravent. Il devient alors plus facile pour eux d'adopter les nouveaux paradigmes dans lesquels certains, déjà, s'engagent. La pédologie devient* science dialectique *lorsqu'elle considère ses objets comme des totalités, et lorsqu'elle donne de la réalité-sol une vision foncièrement dynamique et rythmée de discontinuités. Elle devient* science axiomatique et structurale *lorsqu'elle généralise l'emploi des codes, des symboles, des formalisations, des modèles.*

De nouveaux paradigmes

Dans les conditions qui viennent d'être décrites, l'épistémologie accomplit des actes scientifiques *vrais. Ces actes sont aussi importants que ceux relevant des pratiques habituelles de la science. Nous pensons même qu'ils le sont plus encore, à un moment où la pédologie peut réaliser certaines mutations. L'épistémologie rétrospective, telle qu'elle vient d'être conduite, finit par s'imbriquer à la* méthodologie *scientifique, la frontière entre l'une et l'autre devenant parfois indécise. Quelles « retombées » scientifiques l'épistémologie a-t-elle pu avoir dans notre cas tout à fait personnel ? Un premier acquis a fait suite à un constat de carence dans la topologie sémantique. Il a consisté à établir une « typologie », c'est-à-dire un système de définition et de nomination de « types » ou « individus » pédologiques. Les chapitres précédents en ont fait plusieurs fois mention. Cette entreprise a été étendue, au cours d'une deuxième opération plus récente (*), à des volumes pédologiques d'ordre plus élevé. Ceci a permis d'énoncer des règles de cartographie des sols.*

Épistémologie et méthodologie

***

Il y a mieux encore à faire. Les sciences du sol ne se dégagent que lentement du champ doxologique *(20) que constituent les évidences du savoir quotidien, les concepts attachés au langage usuel, les idées scientifiques banalisées, en un mot toute la culture liée à une certaine société et à son système d'enseignement scientifique. Les ruptures nécessaires sont préparées par une épistémologie rétrospective, esquissée ici dans ses grandes lignes, si une fonction constructive double son travail critique. Mais il devient maintenant possible de concevoir une épistémologie plus directement créative que la précédente. Nous la définirons comme* épistémologie prospective.

(*) Beaudou (A. G.), Chatelin (Y.) - Méthodologie de la représentation des volumes pédologiques. Typologie et Cartographie en milieu ferrallitique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, nº 1, 1977, 3-18.

VERS UNE ÉPISTÉMOLOGIE PROSPECTIVE

« *Il est bon de signaler un fait dont bien peu de scientifiques sont conscients... C'est l'extrême misère théorique de la plupart des sciences* » (*). *Ceci rejoint le jugement que nous portons sur les sciences du sol, avec le correctif que nous postulons la possibilité pour elles de sortir rapidement de cette situation grâce à une épistémologie prospective. Celle-ci ne doit pas se développer sur l'acquis relatif à la réalité-sol, mais* antérieurement *à lui. En d'autres termes, elle consistera à édifier la « théorie » (au sens le plus large) sur laquelle reposeront, dès la collecte des données, toutes les phases de la recherche. Les éléments de cette théorie première ne proviendront plus seulement des sciences du sol prises dans leurs états antérieurs, avec leurs canevas implicites de travail, suivant l'émergence des interrogations qu'elles sont capables de poser. Certains seront directement empruntés à la linguistique générale, à la théorie de l'information, à la thermodynamique, à la théorie générale des systèmes, etc. L'épistémologie deviendra prospective en formulant pour les sciences considérées* de nouveaux paradigmes de départ, *plus précis, plus opérationnels à proprement parler que ceux décrits ici. Des chercheurs, déjà, œuvrent en ce sens dans le domaine des sciences de la Terre. Au terme de notre travail personnel, nous voyons donc s'ouvrir la perspective de nouveaux développements.*

***

(*) THOM (R.) - 1968 - La science malgré tout... Encyclopaedia Universalis, vol. 17, pp. 5-10.

BIBLIOGRAPHIE

(1) ALTHUSSER (L.) - 1967 - Philosophie et philosophie spontanée des savants. Maspéro, 157 p.

(2) AUBERT (G.), BOULAINE (J.) - 1967 - La pédologie. Que sais-je ? n. 352, 126 p.

(3) AUBERT (G.), DUCHAUFOUR (Ph.) - 1956 - Projet de classification des sols. Congr. Intern. Sci. Sol., 6, vol. E, pp. 597-604.

(4) BACHELARD (G.) - 1934 - Le nouvel esprit scientifique. P.U.F. 11e éd. 1971, 183 p.
BACHELARD (G.) - 1940 - La philosophie du non. P.U.F.
BACHELARD (G.) - 1953 - Le matérialisme rationnel. P.U.F., 2e éd. 1963, 224 p.

(5) BAULIG (H.) - 1970 - Vocabulaire franco-anglo-allemand de géomorphologie. Ophrys, Paris, 230 p.

(6) BENEZE (G.) - 1967 - La méthode expérimentale. P.U.F., 120 p., 1re éd. 1954.

(7) BERNARD (Cl.) - 1966 - Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. Garnier-Flammarion, 318 p., 1re éd. 1865, Baillière.

(8) BERTALANFFY (L. von) - 1973 - Théorie générale des systèmes. Dunod, 296 p., éd. originale 1968, New York.

(9) BERTRAND (G.) - 1968 - Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Rev. Géogr. Pyr. Sud-Ouest, 39, 3, pp. 249-272.

(10) BERTRAND (G.), DOLLFUS (O.) - 1973 - Le paysage et son concept. L'Espace Géographique, 2, 3, pp. 161-164.

(11) BLANCHE (R.) - 1966 - Structures intellectuelles. Vrin, 147 p.
BLANCHE (R.) - 1967 - Raison et discours. Défense de la logique réflexive. Vrin, 271 p.
BLANCHE (R.) - 1967 - La science actuelle et le rationalisme. P.U.F., 122 p.
BLANCHE (R.) - 1969 - La méthode expérimentale et la philosophie de la physique. A. Colin, 384 p.

(12) BLANCHE (R.) - 1972 - L'épistémologie. Que sais-je ?, n. 1475, 124 p.

(13) BOCQUIER (G.) - 1973 - Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. *ORSTOM, Mém.* n. 62, 351 p.

(14) BOHR (N.) - 1958 - Atomic physics and human knowledge. Wiley, New York, 101 p.

(15) BOISSEZON (P. de), MOUREAUX (C.), BOQUEL (G.), BACHELIER (G.) - 1973 - Les sols ferrallitiques, t. 4. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. *ORSTOM, Init. Doc. Techn.* n. 21, 146 p.

(16) BOULAINE (J.) - 1969 - Sol, pédon, genon. Concepts et définitions. Bull. Ass. fr. Et. Sol, 2, pp. 31-40.

(17) BOULAINE (J.) - 1975 - Géographie des sols. P.U.F., 199 p.

(18) BRIDGMAN (P. W.) - 1927 - The logic of modern physics. MacMillan, New York, 228 p.

(19) BRUNET (R.) - 1967 - Les phénomènes de discontinuité en géographie. Centre de Recherches et Documentation Cartographiques et Géographiques. Mém. et Doc. n. 7, 117 p.

(20) BRUYNE (P. de), HERMAN (J.), DE SCHOUTHEETE (M.) - 1974 - Dynamique de la recherche en sciences sociales. P.U.F., 240 p.

(21) CANGUILHEM (G.) - 1970 - Études d'histoire et de philosophie des sciences. Vrin, 394 p.
(22) CAVEING (M.) - 1972 - Le projet rationnel des sciences contemporaines. Union Générale d'Édition, « Épistémologie et Marxisme », pp. 33-58.
(23) CAYEUX (L.) - 1941 - Causes anciennes et causes actuelles en géologie. Masson, 79 p.
(24) CHATELIN (Y.) - 1972 - Éléments d'épistémologie pédologique. Application à l'étude des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 10, 1, pp. 3-23.
(25) CHATELIN (Y.) - 1972 - Les sols ferrallitiques, t. 1. Historique. Développement des connaissances et formation des concepts actuels. *ORSTOM, sér. Init. Doc. Techn.* n. 20, 98 p.
(26) CHATELIN (Y.) - 1974 - Les sols ferrallitiques, t. 3. L'altération. *ORSTOM, sér. Init. Doc. Techn.*, n. 24, 144 p.
(27) CHATELIN (Y.), MARTIN (D.) - 1972 - Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 10, 1, pp. 25-43.
(28) CHOMSKY (N.) - 1973 - Le langage et la pensée. Payot, 145 p., éd. originale 1968. Harcourt, Brace & World, New York.
(29) Classification des sols. Édition 1967. Commission de Pédologie et de Cartographie des sols (C.P.C.S.), 96 p.
(30) CLINE (M. G.) - 1963 - Logic of the new system of soil classification. Soil. Science, 96, 1, pp. 17-22.
(31) DAIX (P.) - 1971 - Structuralisme et révolution culturelle. Castermans, 147 p.
(32) DIJKERMAN (J. C.) - 1974 - Pedology as a science : the role of data, models and theories in the study of natural soil systems. Geoderma, 11, 2, pp. 73-93.
(33) DOLOTOV (V. A.) - 1971 - Profile-regional soil concept. Soviet Soil Science, 3, 4, pp. 396-401.
(34) DOST (H.) - 1960 - Criticism of the conception of soil as a natural body. Intern. Congr. Soil Sci., 7, vol. 4, pp. 124-126.
(35) DUBOIS (J.), DUBOIS (C.) - 1971 - Introduction à la lexicographie : le dictionnaire. Larousse, 217 p.
(36) DUCHAUFOUR (Ph.) - 1970 - Précis de pédologie. Masson, 3e éd., 481 p.
(37) DUCROT (O.), TODOROV (T.) - 1972 - Dictionnaire encyclopédique des sciences du langage. Seuil, 470 p.
(38) ETIEMBLE (R.) - 1966 - Le jargon des sciences. Hermann, 178 p.
(39) FALIN (L. N.) - 1971 - Structure logique de la classification. Nauk. Doklady Vyssej Skoly, Filos. Naukk. SSR, pp. 74-82.
(40) FOUCAULT (M.) - 1966 - Les mots et les choses. Une archéologie du savoir. NRF Gallimard, 400 p.
(41) FURON (R.) - 1961 - La géologie. P.U.F. « Histoire générale des sciences », vol. 3, pp. 371-394.
(42) GLANGEAUD (L.) - 1956 - Intervention sur la classification des sols. Congr. Intern. Sci. Sol. 6, vol. A, pp. 176-179.
(43) Glossaire de pédologie. Description des horizons en vue du traitement informatique - 1969 - *ORSTOM, Init. Doc. Techn.* n. 13, 82 p.
(44) GOOSSE (A.) - 1971 - De l'accueil au refus. La Banque des Mots, 1, pp. 37-44.
(45) GUILBERT (L.) - 1971 - La néologie scientifique et technique. La Banque des Mots, 1, pp. 45-54.
(46) GUIRAUD (P.) - 1968 - Les mots savants. Que sais-je ? n. 1325, 115 p.
(47) GUSDORF (G.) - 1966 - De l'histoire des sciences à l'histoire de la pensée. Payot, 336 p.
(48) HEISENBERG (W.) - 1961 - Physique et philosophie. Albin Michel, éd. originale 1958, New York.

(48) HEISENBERG (W.) - 1962 - La nature dans la physique contemporaine. Gallimard, 190 p.
(49) HEMPEL (C. G.) - 1966 - Éléments d'épistémologie. A. Colin, 184 p., éd. originale Prentice Hall, Englewood Cliffs.
(50) HENIN (S.) - 1944 - Essai sur la méthode en agronomie. Thèse Lettres, Paris, 140 p.
(51) HENLE (P.) - éd. - 1965 - Language, thought+culture. Michigan Press, 273 p.
(52) HOOYKAAS (R.) - 1970 - Continuité et discontinuité en géologie et biologie. Seuil, 366 p., éd. originale 1959.
(53) HUGGETT (R. J.) - 1975 - Soil landscape systems : a model of soil genesis. Geoderma, 13, 1, pp. 1-22.
(54) HULL (D. L.) - 1970 - Contemporary systematic philosophies. Ann. Rev. Ecol. Syst. 1, pp. 19-54.
(55) JACKS (G. V.), TAVERNIER (R.), BOALCH (D. H.) - 1968 - Vocabulaire multilingue de la science du sol. F.A.O., 2e éd. 430 p.
(56) JACOB (F.) - 1970 - La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité. Gallimard, 354 p.
(57) JENNY (H.) - 1941 - Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. Mc-Graw-Hill Book Company, 281 p.
(58) KNOX (E. G.) - 1965 - Soil individuals and soil classification. Soil. Sci. Soc. Amer., Proc. 29, 1, pp. 79-84.
(59) KOYRE (A.) - 1939 - Études galiléennes. Hermann, 3 vol.
KOYRE (A.) - 1954 - De l'influence des conceptions philosophiques sur l'évolution des théories scientifiques. Dans « Études d'Histoire de la pensée philosophique », A. Colin, 1961.
KOYRE (A.) - 1966 - Étude d'histoire de la pensée scientifique. P.U.F., 370 p.
(60) KUHN (T. S.) - 1972 - La structure des révolutions scientifiques. Flammarion 246 p., éd. originale 1962, The Univers. Chicago Press.
(61) KRISTEVA (J.) - 1974 - La révolution du langage poétique. Seuil, 646 p.
(62) La classification dans les sciences. 1963 - Ed. J. Duculot, S. A. Gembloux.
(63) LEFEBVRE (H.) - 1971 - Le matérialisme dialectique. P.U.F., 165 p.
(64) MAIGNIEN (R.) - 1969 - Évolution de la notion « sol » au cours de vingt années d'études pédologiques en Afrique. *ORSTOM*, Paris, 15 p.
(65) MALMBERG (B.) - 1972 - Les nouvelles tendances de la linguistique. P.U.F. 342 p., traduit du suédois par J. Gengoux.
(66) MARGULIS (H.) - 1954 - Aux sources de la pédologie. E.N.S.A., Toulouse, 85 p.
(67) MEYER (F.) - 1967 - Situation épistémologique de la biologie. Gallimard, La Pléiade « Logique et connaissance scientifique », pp. 781-821.
(68) MEYNIER (A.) - 1969 - Histoire de la pensée géographique en France. P.U.F., 223 p.
(69) MONOD (J.) - 1970 - Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne. Seuil, 197 p.
(70) MOULOUD (N.) - 1968 - Les structures, la recherche, et le savoir. Payot, 307 p.
(71) NAGEL (E.) - 1961 - The structure of science. Problems in the logic of scientific explanation. Harcourt, Brace & World, New York, 618 p.
(72) NYE (P. H.) - 1954-1955 - Some soil forming processes in the humid tropics. The Journ. Soil Sci., 5, 1, pp. 7-62, & 6, 1, pp. 63-83.
(73) PANTIN (C. F. A.) - 1968 - The relations between the sciences. Cambridge University Press, 206 p.
(74) PARAIN-VIAL (J.) - 1966 - La nature du fait dans les sciences humaines. P.U.F., 227 p.
(75) PARAIN-VIAL (J.) - 1969 - Analyses structurales et idéologies structuralistes. Privat, 237 p.
(76) PIAGET (J.) - éd. - 1967 - Logique et connaissance scientifique. Gallimard, La Pléiade, 1345 p.

(77) PIAGET (J.) - 1970 - Le structuralisme. Que sais-je ?, n. 1311, 125 p.
(78) PLAISANCE (G.), CAILLEUX (A.) - 1958 - Dictionnaire des sols. La Maison Rustique, 604 p.
(79) REGNIER (A.) -1966 - Les infortunes de la raison. Seuil, 142 p.
(80) REYNAUD (A.) - 1971 - Épistémologie de la géomorphologie. Masson, 125 p.
(81) RICHARD (J.-F.) - 1974 - Paysage, écosystème et environnement - une approche géographique. L'Espace Géographique, 4, 2, pp. 81-92.
(82) ROUTHIER (P.) - 1969 - Essai critique sur les méthodes de la géologie (de l'objet à la genèse). Masson, 204 p.
(83) RUSSELL (B.) - 1971 - La méthode scientifique en philosophie. Payot, 250 p.
(84) SANDRI (G.) - 1969 - On the logic of classification. Qual. and Quant., 3, 1-2, pp. 80-124.
(85) SAPIR (E.) - 1970 - Le langage. Introduction à l'étude de la parole. Payot, 231 p., éd. originale 1921, New York.
(86) SAUVAGEOT (A.) - 1971 - Valeur des néologismes. La Banque des Mots, 1, pp. 29-36.
(87) SCHAFF (A.) - 1969 - Introduction à la sémantique. Anthropos, Paris, 334 p., traduit du polonais par G. Lisowski.
(88) SCHEFFLER (I.) - 1966 - Anatomie de la science. Études philosophiques de l'explication et de la confirmation. Seuil, 266 p., éd. originale 1963, A. A. Knopf, New York.
(89) SCHELLING (J.) - 1970 - Soil genesis, soil classification and soil survey. Geoderma, 4, 3, pp. 165-193.
(90) SCHNEER (C. J.) - éd. - 1969 - Toward a history of geology. M.I.T. Press, 469 p.
(91) SIMONSON (R. W.) - 1968 - Concept of soil. Adv. Agron., 20, pp. 1-44.
(92) SMITH (G. D.) - 1960 - A new soil classification scheme progress report. Intern. Congr. Soil Sci., 7, vol. 4, pp. 105-111.
(93) SMITH (G. D.) - 1963 - Objectives and basic assumptions of the new soil classification system. Soil Science, 96, 1, pp. 6-16.
(94) SMITH (G. D.) - 1965 - Lectures on soil classification. Pédologie, n. spécial 4, 134 p.
(95) THEODORIDES (J.) - 1971 - Histoire de la biologie. Que sais-je ? n. 1, 124 p.
(96) THUILLIER (P.) - 1972 - Jeux et enjeux de la science. Essais d'épistémologie critique. Laffont, 332 p.
(97) TRICART (J.) - 1965 - Principes et méthodes de la géomorphologie. Masson, 496 p.
(98) TRICART (J.), CAILLEUX (A.) - 1965 - Traité de géomorphologie. 1, Introduction à la géomorphologie climatique. SEDES, 306 p.
(99) WHEWELL (W.) - 1884 - History of the inductive sciences. Appleton & Co, New York, 2 vol.
(100) WIENER (N.) - 1961 - Cybernetics or control and communication in the man and the machine. M.I.T. Press.
(101) YAALON (D. H.) - 1975 - Conceptual models in pedogenesis : can soil-forming functions be solved ? Geoderma, 14, 3, pp. 189-205.

INDEX THÉMATIQUE

A, B, C, (horizons) p. 20, 40
notations fondamentales et symboles complémentaires p. 94
A2 (horizon) p. 75
Accumulation relative ou absolue p. 46, 110
Addition (évolution par) p. 110
Age (du sol) p. 108
Aliatique p. 13
Allochtone, allochtonie p. 11, 29, 30, 45, 57
Allogène (concept) p. 26
Allophane p. 39
Aluminium (immobilisation, déplacement) p. 72
Amont, aval p. 129
Analyse factorielle p. 37
Andosol p. 28
Anthropocentrisme p. 108
Anthropologique p. 106
Approximation (7th) p. 22, 65, 91
Arbitraire (caractère arbitraire du signe) p. 115
Argile, minéraux argileux p. 38, 42
éluviation, illuviation de l'argile p. 29, 127
Atomisme, atomistique p. 53
Autochtone, autochtonie p. 11, 29, 30, 45, 57
Autorité (du langage) p. 111

Barrière géochimique p. 110
Bilan p. 45
bilan hydrique p. 45, 60, 127
Biostasie p. 111

Carte pédologique p. 47, 136
Catégories modales p. 66
Causalité, causalisme p. 18, 27, 32, 33, 106
Causes actuelles (principe des), ou principe d'uniformitarisme p. 6, 24, 70
Champ doxologique p. 142
Classification des sols p. 9, 11, 50, 88, 119
classification morphogénétique p. 28, 65
classification sommative p. 22
classification synthétique, naturelle, pangnosique p. 19
modèle dichotomique descendant p. 120
unité stable de la classification p. 120
Clé de repérage p. 121
Cohérence des énoncés p. 56, 65
Concept p. 3, 56
concept de classe p. 121
concept de sol p. 10
concept de profil régional p. 121
Concrétion p. 43, 127
Confirmation expérimentale p. 65
Connaissance (problème général de la) p. 1, 131
Constructivisme p. 53
Contexte de découverte p. 23
Corps naturel (le sol, en tant que) p. 10, 50
Corpus des connaissances p. 14, 62
Corrélation empirique p. 23
Créativité scientifique p. 132
Creep p. 127
Cuirasse, cuirassement p. 11, 30, 43, 44, 59, 70, 127

Darwinisme p. 24
Datation p. 64
Décryptage p. 69
Définition (en extension et en compréhension) p. 117
Dérivation (circuits de) p. 72
Description morphologique élémentaire des sols p. 13
Déterminisme p. 6, 18, 24, 27, 32
Développement (état continu du développement des sols) p. 128
Dialectique, matérialisme dialectique p. 7, 8, 25, 123, 128
Discontinuité, seuil, rupture p. 7, 25, 50, 125, 130
Distribution groupée (strie, lamelle, trait laminaire, coiffe) p. 75
Dynamique, dynamique actuelle p. 27, 48
dynamique remontante de la matière p. 110

Échelle p. 51
échelle régionale p. 39
échelle et distribution scalaire p. 130
École française de pédologie p. 27, 122
Emboitement, structure emboitée p. 43
Empirisme p. 18
Énonciation directe p. 122
Épistémologie p. 1, 2, 8, 11
épistémologie régionale p. 2, 63
épistémologie interne (ou critique interne) p. 6, 8, 10
épistémologie récurrente, rétrospective, prospective, p. 141, 143
coupure épistémologique p. 12
épistémè p. 5, 24, 56
fonction critique, fonction créatrice de l'épistémologie p. 141, 142
Épitomé p. 117
Éponyme p. 122
Espace pédologique p. 135

Espace-temps culturel p. 5
Évolution
évolution des espèces p. 4, 25
évolution des sols p. 23, 28
évolution biogéodynamique p. 129
Expérimentation p. 49, 58

Facteur de formation des sols p. 14, 28
Factual classification p. 22
Fait (fait scientifique) p. 27, 55, 62
Fer
immobilisation, déplacement p. 71
fer labile p. 64
Filtre géochimique p. 110
Formalisation p. 133, 135, 136
Formalisme p. 18
Formation superficielle p. 30
Forme organisée p. 42

Genèse p. 28
Genon p. 9
genon, génode, génôme p. 137
Géochimie, géochimie de surface p. 26, 41, 52, 76
Géographie p. 7, 8
Géomorphologie p. 7
Gibbsite (synthèse, formation dans le milieu naturel) p. 74
Glossaire de pédologie p. 91
Granulométrie p. 42
Gravillon p. 43

Halloysite p. 39
Héritage (pédologique) p. 40, 43, 110
Histoire des sciences p. 4, 8, 9, 12, 23, 26, 141
analyse ou méthode historico-critique p. 2, 5, 6, 7
Horizon p. 10, 135
Hypothèse p. 3, 62, 64
hypothético-déductif p. 3, 64
hypothèse Sapir-Whorf p. 104

Idée transcientifique p. 3
Idéologie p. 3, 7
Indicateur p. 42, 44
Individu-sol p. 5, 10, 50
Instrumentalisme p. 18
Interaction, antagonisme p. 126, 128, 137
Intuition (rôle de l'intuition dans la créativité scientifique) p. 131, 132
Invariant p. 46
Invasion remontante des argiles p. 20, 26, 110
Isovolume p. 46, 60

Kaolinite (synthèse ou formation dans le milieu naturel) p. 73, 74

Langage p. 4, 13, 26
langage scientifique p. 115
langage formalisé p. 67
sous-langage pédologique p. 97, 98
fonctions référentielles, émotionnelles, esthétisantes du langage p. 110
vieillissement du langage p. 112

Lessivage p. 46
Lexique
analyse lexicale p. 80
unité lexicale p. 83
spécialisation, groupes lexicaux spécialisés p. 81, 90
lexique micromorphologique p. 99
lexique d'accompagnement p. 103, 104, 106
série lexicale homogène p. 117
unification du champ lexical p. 98
Linguistique p. 5
Lithologie p. 37
Logique p. 66, 67
Loi scientifique p. 19, 21, 25, 36
loi de l'autodéveloppement des systèmes biogéodynamiques p. 129
loi de la correction de l'autodéveloppement des systèmes biogéodynamiques p. 130
loi de zonalité p. 19, 37, 130

Malthusianisme p. 4
Matériau originel, matériau de départ p. 10, 46
Matière organique p. 46, 49
Mécanique quantique p. 3, 4, 6
Méthode expérimentale p. 35, 36
Méthodologie p. 35, 36, 142
Métonymie p. 78, 122
Micromorphologie p. 21, 27, 29, 31, 43, 53
Migration (fer, argile, etc.) p. 49
Milieu
milieu naturel p. 59
milieu lessivant, milieu confinant p. 110
Minéralisation des solutions p. 61, 62
Minéralogie p. 41, 42
Modèle p. 20, 33, 137, 138
Monisme p. 20
Monosémie p. 113
Montmorillonite p. 74
Mot
mot du langage courant p. 79
mot vernaculaire p. 87, 88
mot emprunté p. 85, 90
mot ubiquiste p. 85
mot savant p. 79
mot dérivé, capacité de dérivation p. 82, 97, 117
Mouvement de matière p. 107
mouvement latéral p. 40

Nappe de gravats p. 29
Néologie, néologisme p. 84, 87, 115, 116

Objectif, objectivité p. 13, 103
Obstacle épistémologique p. 132
Ontologie p. 4
ontologie pédologique p. 119, 120
Opérationnel, opérationnalisme p. 8, 18, 22
Ordre naturel p. 18, 21
Orthotype p. 118

Paléo-(-climat, -pédogenèse, -physiographie) p. 44, 45, 63, 65, 76, 77
Paradigme p. 5, 24, 57, 58, 143

Parcelle expérimentale p. 53
Paysage p. 8, 44
  paysage géochimique p. 52
Pédoclimat p. 78
Pédogenèse initiale p. 28, 41
Pédologie quantitative p. 21
Pédon p. 10, 44, 50, 135
  pédon, péripédon, pédole, pédôme, etc. p. 9, 137
Pédoturbation p. 30
Pensée génétique p. 14, 27, 28, 109, 124
Per ascensum (mouvement) p. 77
Phase solubilisée p. 47
Philosophie p. 1, 2
Piège géochimique p. 110
Podzol p. 114
Polémique p. 111
Polysémie p. 112
Positivisme p. 18
Pratique opératoire p. 36
Précurseur p. 24
Preuve p. 55
Principe
  principe de complémentarité p. 17
  principe d'incertitude (ou d'indétermination) p. 4, 6, 32
Problématique p. 9, 134, 137
Processus de formation des sols p. 14, 47, 50
Profil
  profil pédologique p. 10, 44, 50, 133
  profil hydrique p. 48
Pseudomorphose p. 41
Psychologie
  rôle psychologique de la classification p. 119

Quantitatif p. 45
Quartz p. 72

Raison, rationnel, rationalisme p. 17, 18, 25, 55
  raisonnement circulaire p. 61, 78
Rapport silice/alumine p. 19, 38
Réalisme p. 17, 18, 25, 124
Recherche comparative p. 37
Recouvrement p. 29
Récurrence p. 12, 141
Réductionisme p. 53
Réflexif (méthode réflexive) p. 1
Relation
  relation fonctionnelle p. 21
  relation d'incertitude p. 30, 32
Remaniement des sols p. 11, 29, 45
Revêtement argileux p. 75
Révolution scientifique p. 5, 32, 132
Rhexistasie p. 111

Saut épistémologique p. 32
Science
  science axiomatique et structurale p. 133, 134
  science carrefour p. 2
  science classificatoire p. 119
  science du paysage p. 8
  science expérimentale p. 2
  science normale p. 1, 5, 15
Sédiment désertique p. 21
Séquence (topo-, litho-, chrono-, climato-), p. 39
Siècle (XIXe) p. 24, 25
Sigle p. 79, 96
Signifié, signifiant p. 79
Sol
  définition du sol p. 126
  sol brun eutrophe p. 28
  sol ferrallitique, ferrallitisation p. 11, 26, 29, 117, 126
  sol latéritique, latérite p. 11, 12, 56, 114
  sol normal, sol anormal p. 26
Soustraction (évolution par) p. 110
Stade antérieur p. 40
Stone-line p. 29
Structuralisme p. 33, 132
Structure
  structure pédologique p. 113
  structure-relai, structure emboîtée p. 135
  structure conservée p. 41
Succession p. 40
Sujet connaissant p. 13, 14, 15
Surface (d'aplanissement, ancienne, récente) p. 39, 64
Synonymie p. 112, 113
Syntagme p. 57
  syntagme homogène p. 58
  syntagme complexe p. 60
Système p. 12
  effet de système p. 76
  système ouvert p. 45
  système d'ordre inférieur ou supérieur p. 51
  théorie générale des systèmes (TGS) p. 33, 137

Tautologie p. 78
Taux de saturation p. 19
Taxonomie p. 9, 10
  taxonomie numérique p. 22, 65
Temps pédologique p. 64, 136, 137
Termite p. 59, 128
Terrasse p. 44
Théorie p. 18, 55, 61
  théorie du reflet p. 25, 124, 125
Totalité p. 9, 53, 125
Transformation (des argiles) p. 110
Transposition des concepts p. 2
Transrationalisme p. 131
Typologie générale des sols p. 96, 135

Unité
  unité biogéodynamique p. 10, 62
  unité cartographique pure p. 121
  unité paysagique de sol p. 121

Validité p. 21, 54
Vérité p. 21
  vérification p. 9
Verticalisme p. 10, 77
Vie quotidienne (expérience de la) p. 108
Vitesse (d'un processus pédologique) p. 64
Vocabulaire p. 83 à 101, 105 à 108
  (v. descriptif, v. physico-chimique, v. de la biologie, v. de la minéralogie, v. de la pétrographie, v. d'accompagnement)

IMPRIMERIE A. BONTEMPS
LIMOGES (FRANCE)
Dépôt légal : 1er trimestre 1979

Fabrication - Coordination
Hélène DARDENNE

Les Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer tendent à constituer une documentation scientifique de base sur les zones intertropicales et méditerranéennes, les pays qui en font partie et sur les problèmes posés par leur développement.

CAHIERS ORSTOM *(séries périodiques)*

- **biologie :** études consacrées à diverses branches de la biologie végétale et animale : agronomie, biologie et amélioration des plantes utiles, entomologie agricole, nématologie.
- **entomologie médicale et parasitologie :** systématique et biologie des arthropodes d'intérêt médical et vétérinaire, parasitologie, épidémiologie des grandes endémies tropicales, méthodes de lutte contre les vecteurs et les nuisances.
- **géologie :** pétrologie et cycles des éléments (géochimie) - hydrogéologie - altération et érosion - sédimentologie - stratigraphie - orogenèse continentale - métallogenèse - paléogéographie - structure et évolution des fonds océaniques.
- **hydrologie :** études, méthodes d'observation et d'exploitation des données concernant les cours d'eau intertropicaux et leurs régimes.
- **océanographie :** hydrologie, physico-chimie, hydrodynamique, écologie, caractérisation des chaînes alimentaires, niveaux de production, dynamique des stocks, prospection faunistique (Sud-ouest Pacifique, Canal de Mozambique et environs, Atlantique Tropical Est).
- **hydrobiologie :** physico-chimie, écologie, caractérisation des chaînes alimentaires, dynamique des stocks, action des insecticides sur la faune (Bassin Tchadien, Côte d'Ivoire).
- **pédologie :** problèmes soulevés par l'étude des sols : morphologie, caractérisation physico-chimique et minéralogique, classification, relations entre sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité.
- **sciences humaines :** études géographiques, sociologiques, économiques, démographiques et ethnologiques.

MÉMOIRES ORSTOM : consacrés aux études approfondies (synthèses régionales, thèses...) dans les diverses disciplines scientifiques (87 titres parus).

ANNALES HYDROLOGIQUES : depuis 1959, deux séries sont consacrées : l'une, aux Etats africains d'expression française et à Madagascar, l'autre aux Territoires et Départements français d'Outre-Mer.

FAUNE TROPICALE : collection d'ouvrages principalement de systématique, pouvant couvrir tous les domaines géographiques où l'ORSTOM exerce ses activités (35 titres parus).

INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES : mises au point et synthèses au niveau, soit de l'enseignement supérieur, soit d'une vulgarisation scientifiquement sûre (82 titres parus).

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM : cette collection, diverse dans ses aspects et ses possibilités de diffusion, a été conçue pour s'adapter à des textes scientifiques ou techniques très variés quant à leur origine, leur nature, leur portée dans le temps ou l'espace, ou par leur degré de spécialisation (66 titres parus).

Les études en matière de géophysique (gravimétrie, sismologie, magnétisme...) sont publiées, ainsi que certaines données (magnétisme) dans des séries spéciales : **GÉOPHYSIQUE** et **OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES.**

L'HOMME D'OUTRE-MER : cette collection, exclusivement consacrée aux sciences de l'homme, est réservée à des textes d'auteurs n'appartenant pas à l'ORSTOM, mais dont celui-ci assure la valeur scientifique (co-édition Berger-Levrault) (10 ouvrages parus).

De nombreuses **CARTES THÉMATIQUES,** accompagnées de **NOTICES,** sont éditées chaque année, intéressant des domaines scientifiques ou des régions géographiques très variées.

BULLETIN ANALYTIQUE D'ENTOMOLOGIE MÉDICALE ET VÉTÉRINAIRE (périodicité mensuelle ; ancienne dénomination jusqu'en 1970 : Bulletin signalétique d'entomologie médicale et vétérinaire) (XXV^{e} année).

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Direction générale

24, rue Bayard, 75008 PARIS

Service des Publications

70-74, route d'Aulnay, 93140 BONDY, FRANCE

BONTEMPS LIMOGES (FRANCE)
O. R. S. T. O. M. Éditeur
D. L. éditeur : 1er trim. 1979
D. L. imprimeur : n° 29033

ISBN : 2-7099-0507-8