

Fertilité des sols acides tropicaux Une démarche pour les projets IBSRAM

Soil fertility of tropical acid soils One approach for the IBSRAM projects

M. LATHAM (1), J. KILIAN (2), C. PIERI (2)

(1) *Pédologue ORSTOM, Centre ORSTOM, 70-74, Route d'Aulnay 93140 Bondy.*

(2) *Pédologue et Agronome IRAT-GERDAT, Route de Mende 34000 Montpellier.*

RÉSUMÉ

La faible fertilité des sols acides reste l'un des problèmes majeurs pour la mise en valeur des régions tropicales. Dans cet article sont envisagés les problèmes posés par les couvertures pédologiques naturellement acides (sols ferrallitiques fortement désaturés, oxisols, ultisols) et les couvertures pédologiques moyennement acides qui s'acidifient sous l'effet des cultures. Dans le cas des sols naturellement acides, des causes chimiques (toxicité aluminique, fixation de phosphore) ont le plus souvent été avancées pour expliquer leur faible fertilité. Dans le cas des sols moyennement acides, en revanche, ce sont plutôt des causes physiques (réorganisation structurale, érosion, hydromorphie) qui ont été invoquées. Or il semble que dans les deux cas, les causes physiques et les causes chimiques aient leur part de responsabilité.

L'objectif à atteindre dans les projets d'études à présenter est, à la suite d'études portant sur la connaissance du milieu physique et humain, l'obtention de techniques facilement applicables, permettant d'utiliser les ressources pédologiques de façon continue sans destruction du patrimoine sol.

Pour cela une démarche en quatre étapes est proposée :

- 1. La recherche de secteurs représentatifs d'unités morpho-pédologiques régionales ;*
- 2. L'établissement d'un diagnostic de départ comprenant :*
 - une analyse de l'unité morphopédologique en ce qui concerne le relief et son évolution, l'organisation de la couverture pédologique et son fonctionnement, et une évaluation de l'activité biologique et de l'état phyto-sanitaire ;*
 - une étude de l'histoire agricole et des conditions socio-économique de la région ;*
- 3. L'établissement d'un diagnostic végétal sur des bandes recoupant l'ensemble des variations latérales de la couverture pédologique ;*
- 4. L'étude de divers traitements aux différents niveaux d'intervention compatibles avec une évolution prévisible des techniques locales.*

MOTS-CLÉS : Fertilité — Sols acides — Diagnostic — IBSRAM — Sols tropicaux — Démarche.

SUMMARY

The low fertility of acid soils appears as a major challenge for the development of the tropical regions. In this paper, soil mantles naturally acid (highly unsaturated ferrallitic soils, oxisols, ultisols) and moderately acid (ultisols, oxisols) which can show acidification when cultivated, will be considered. In the naturally acid soil case, chemical constraints (aluminium

toxicity, phosphorus fixation) are the more often advanced causes to explain their low fertility. While for moderately acid soils, physical constraints (structural organization, erosion, hydromorphy) are more often put forward. But in the two cases, physical and chemical causes seem to have their part.

After studying the physical and the human environment, the objective of the projects to be presented will be to obtain easily applicable techniques allowing to use the soil resources continuously without destructing the soil.

For that, a four steps approach is put forward :

- 1. The research and identification of representative, regional, morphopedologic units ;*
- 2. The establishment of a starting point diagnosis which will consist of :
— an analysis of the morphologic unit regarding landscape and its evolution, the organization of the soil mantle and its dynamic and an evaluation of the biological activity characteristics and of the phytosanitary status ;
— a study of the agricultural history and of the socio-economic conditions of the region ;*
- 3. The establishment of a vegetal diagnostic on strips crossing all lateral variations of the soils ;*
- 4. The study of different treatments at different intervention levels compatible with the forecasted evolution of the local techniques.*

KEY WORDS : Fertility — Acid soils — Diagnosis — IBSRAM — Tropical soils — Approach.

INTRODUCTION

Les difficultés rencontrées, en région tropicale, dans la mise en valeur des sols acides et les rapides pertes de fertilité liées à l'acidification, constatées après mise en culture, constituent deux des plus graves déficits à la technique posés par le développement rural de ces régions. Face à ce constat, l'IBSRAM (International Board for Soil Research and Management) a retenu parmi les sujets prioritaires à étudier en coopération internationale, les sols acides tropicaux. De très nombreuses expérimentations ont été menées un peu partout de par le monde pour résoudre ce problème. Des amendements, des techniques de culture, des variétés acido-résistantes, des fertilisations ont été testés souvent avec succès, dans un grand nombre de stations de recherche (BOYER, 1978). Or, ce problème se pose toujours avec acuité car soit les solutions proposées ont été partielles, soit elles ont été mal appliquées. SANCHEZ *et al.* (1983) tirant les leçons de ces échecs relatifs ont mis au point une méthodologie prenant en compte tant les modes de défrichements, que les corrections minérales par des amendements ou des engrais, ou que les techniques culturales. Ils ont ainsi pu montrer, après huit ans d'expérimentation menés sur un Typic paleudult en zone plane, sur la station de Yurimaguas au Pérou que, comme en zone tempérée, une culture intensive pouvait être menée sur ces sols sans perte de fertilité chimique notable, grâce à une méthode et à des investissements appropriés, c'est-à-dire importants. C'est un pas énorme, car de nombreux chercheurs pensaient que ce n'était pas possible (GOODLAND et IRVIN, 1975).

Quatre questions se posent cependant :

— peut-on transférer ces résultats sur d'autres couvertures pédologiques acides ou en voie d'acidification, ou tout au moins sur des sols regroupés de la même façon dans les classifications pédologiques actuelles ?

— peut-on par de simples analyses chimiques estimer avec certitude la fertilité de ces sols ?

INTRODUCTION

Management of acid soil and the drop in soil fertility due to acidification when under cultivation are two of the major challenges to the rural development in the tropics. In front of this fact, studying tropical acid soils in an international cooperation effort has been chosen as one of the priorities of IBSRAM (International Board of Soil Research and Management). Widespread experiments have been conducted in many regions to find possible solutions of this problem. Liming, adapted cultural techniques, the development of acid-resistant varieties, new fertilization techniques been tested, very often successfully, in a great number of research stations (BOYER, 1978). However, since only partial solutions have been proposed or the results were not properly applied, the problem remains very acute. SANCHEZ et al. (1983) learned from these relative failures and set up a methodology including bush clearing methods as well as mineral adjustments by liming or mineral fertilization and new farming techniques. After 8 years experiments on a Typic paleudult on a flat area they showed on the Yurimaguas station in Peru that, as in temperate zones, intensive cropping maintaining the soil fertility could be done on this type of soil. However, appropriate techniques and important investments were required. This is a big step forward since numerous researchers thought that this was not possible (GOODLAND and IRVIN, 1975).

Four questions are still remaining :

1. Can these results be transferred to other acid soils, or on soils encountering an acidification process, or at least on soils actually grouped in the same Taxonomic Unit.

2. Can we, by simple chemical analysis, accurately estimate the fertility of these soils ?

3. Can these sophisticated and expensive solutions be applied in regions that are by definition poor and technologically not receptive ?

— ces solutions sophistiquées et financièrement coûteuses peuvent-elles s'appliquer à des contrées par définition pauvres et technologiquement peu réceptives ?

— comment, en tenant compte de ces acquis, poursuivre des études sur la fertilité des sols acides tropicaux ?

1. LES COUVERTURES PÉDOLOGIQUES ACIDES TROPICALES

Les récentes études sur les couvertures pédologiques acides tropicales ont montré leur diversité d'une façon générale et leur variabilité locale. Deux pôles principaux avec de nombreux intergrades peuvent être dégagés :

— des sols naturellement acides ;

— des sols qui s'acidifient après mise en culture.

Les couvertures pédologiques naturellement acides sur lesquelles croissent des végétations de forêt, de cerrado, de savane ou de fougère, se développent dans des régions très humides d'Amérique du Sud, d'Afrique Centrale, de Madagascar ou du Sud-est Asiatique. Ce sont essentiellement des sols ferrallitiques fortement désaturés (oxisols et ultisols), présentant des constituants (nature des minéraux, matière organique), des organisations (arrangement des phases et des constituants les uns par rapport aux autres, porosité...) et des fonctionnements (dynamique de l'eau et des solutions, activité biologique) très variés. Des travaux récents ont montré que ces couvertures pédologiques très variées présentaient des différenciations latérales ordonnées en fonction du relief qui peuvent être progressives ou rapides. (TURENNE, 1975 ; MULLER, 1977 ; BOULET *et al.*, 1982 ; FRITSCH, 1984). Ces différenciations peuvent être marquées par une nodulation, une déferruginisation, une induration en cuvette, une éluviation et à la limite par l'individualisation de podzols (spodosols) ou de sols sableux (psamments). Elles permettent de définir des systèmes morpho-pédologiques ordonnés, c'est-à-dire des portions de territoire, ou systèmes de paysage, caractérisés par une structure, une évolution et des problèmes qui leur sont propres.

Les couvertures pédologiques moyennement acides principalement des sols ferrallitiques moyennement et faiblement désaturés (oxisols, ultisols) à organisation micronodulaire ou micro agrégée peuvent montrer, après mise en culture, une acidification liée à une ultradessiccation, à un effondrement des structures et à des hydromorphies temporaires. On les rencontre en Afrique (vallée du Niari au Congo, G. MARTIN, 1970 ; BEAUDOU *et al.*, 1977, au Sénégal, CHAUVEL, 1977) en Amérique du Sud (PEDRO *et al.*, 1976 ; BLANCANEUX et ARAUJO, 1982) et très probablement dans de nombreuses zones à couverture pédologique de type ferrallitique, sous climat contrasté à saison sèche marquée. CHAUVEL (1977), BOULET (1974), LEPRUN (1979), ont mis en évidence des différenciations latérales d'ordre structural, géochimique et fonctionnel pouvant exister dans certaines de ces couvertures. On peut là aussi définir des systèmes morphopédologiques ordonnés.

4. How, taking into account these findings, can research on tropical acid soils be continued ?

1. EXTENT OF TROPICAL ACID SOILS

Recent research on acid soil mantles are showing their generally very wide diversity as well as local variability. Two major groups with numerous variations can be identified :

— The soils naturally acid,

— The soils becoming acid under cultivation.

Naturally acid soil mantles on which forest, cerrado, savanna, or fern thicket, are naturally growing extend in the humid regions of South America, Central Africa, Madagascar and Southeast Asia. These are essentially very unsaturated ferrallitic soils (oxisols and ultisols) which present a very wide variety in their constituents (nature of minerals, organic matter), in their organizational structure (sequence of phases and arrangement of constituents, one in relation to the other, porosity) and in their functioning mechanism (dynamics of water and solutions, biological activity). Recent work showed that this variety of soil mantles had lateral differentiation according to the slope which could be either progressive or abrupt (TURENNE, 1975 ; MULLER, 1977 ; BOULET *et al.*, 1982 ; FRITSCH, 1984). These differentiations can be characterized by nodulation, leaching of iron basin shaped induration, eluviation and at the limit formation of podzols (spodosols) or sandy soils (psamments). Organized morphopedologic systems namely regional or landscape systems, characterized by specific structure, evolution, and problems can so be identified.

When cultivated, medium acid soils, mainly moderately unsaturated ferrallitic soils (oxisols or ultisols), with micro nodules or microaggregates can show acidification due to ultra drying, collapse of structure and temporary hydromorphism. These types of soils are found in Africa (valley of Niari and Congo, G. MARTIN, 1970 ; BEAUDOU *et al.* 1977 ; in Senegal, CHAUVEL, 1977) in Latin America (PEDRO *et al.*, 1976 ; BLANCANEUX and ARAUJO, 1982) and most probably in numerous regions where ferrallitic soils occur, under contrasting climate with marked dry season. CHAUVEL (1977), BOULET (1974) and LEPRUN (1979) have identified on certain soil mantles lateral, structural, geochemical and functional differentiations. In these cases also, organized morphopedologic systems can be defined.

Classification of a wide variety of tropical acid soils in a small number of individual classes is so very difficult. SANCHEZ *et al.* (1983) have shown that characterization of soils at the family level, at the series level, or even at the type level, is not sufficient to explain the variation of the fertility criteria in the same experimental field in Yurimaguas. Therefore, one can understand that the

Ainsi les sols acides tropicaux apparaissent comme une entité très variée qu'il est difficile de classer en un petit nombre d'individus comparables. SANCHEZ *et al.*, (1983) signalent d'ailleurs que la caractérisation des sols au niveau de la famille, de la série et même du type, ne leur paraît pas suffisante pour expliquer les variations des critères de fertilité au sein du champ d'expérimentation de Yurimaguas. On comprend donc que les transferts d'agro-technologie ne puissent se faire sur les seules bases des classifications de sols actuelles mais doivent inclure la connaissance des mécanismes stationnels liant la végétation aux couvertures pédologiques.

2. LES CAUSES DE LA FAIBLE FERTILITÉ DES SOLS ACIDES TROPICAUX

L'acidité est un révélateur d'un état de désaturation très poussé du complexe d'échange et devient schématiquement critique en-dessous de pH 5. Mais elle n'est qu'un révélateur de plusieurs causes de mauvaises conditions édaphiques pour les plantes cultivées parmi lesquelles il faut citer des causes chimiques, physiques et biologiques.

La mise en culture des couvertures pédologiques naturellement acides pose principalement des problèmes de toxicité aluminique et éventuellement manganique, de perte en cations, K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , de perte de charges négatives favorisant la fixation d'anions PO_4^- , SO_4^- et de baisse de l'assimilabilité d'oligo-éléments Mo et Zn en particulier (BOYER, 1978, UEHARA et KENG 1975, SANCHEZ *et al.*, 1983) PIERI (1974) ; DABIN (1984) signale que l'intensité des risques de toxicité aluminique peut varier en fonction de la nature des argiles ; il en est de même pour les réserves minérales et notamment les réserves potassiques. Ces sols sont généralement considérés comme bien structurés et résistants à la dispersion des argiles après mise en culture (UEHARA et KENG, 1975, JONES et UEHARA, 1973). Or les évolutions mises en évidence par BOULET *et al.*, (1982) en Guyane ou signalées par HAINNAUX (*comm. personnelle*) en basse Côte d'Ivoire sous culture d'ananas amènent à penser que des réorganisations structurales sont possibles sous végétation naturelle ou sous culture par la formation de semelle de labour. Sur pente, même faible, l'érosion en nappe est enfin susceptible de provoquer le décapage et le départ des horizons superficiels, humifères, fertiles pour mettre à nu des horizons sous jacents très pauvres et très acides (ROOSE, 1980 ; VALENTIN, 1981 ; SERVANT, 1974 ; LATHAM *et al.*, 1983 ; KILIAN, 1984). A ces causes chimiques et physiques, il faut ajouter des causes biologiques : appauvrissement en matière organique et transformation de ces dernières en composés plus polymérisés (DUCHAUFOR et MANGENOT 1956 ; 1957), baisse de l'activité biologique et en particulier des agents régulateurs de l'azote et développement d'agents pathogènes pour les racines (nématodes).

En ce qui concerne les sols moyennement acides, les causes physiques : effondrement des structures, migration des argiles, hydromorphie, érosion, ont été plus fréquemment

transfer of agrotechnology can not only be done on the basis of actual soil classification systems but must include stationnal mechanisms relating the vegetation to the soil mantle.

2. THE REASONS FOR LOW FERTILITY LEVEL OF TROPICAL ACID SOILS

Acidity reveals the desaturation status of the exchange complex and becomes critical below a pH 5. But acidity is only a revealer of many unfavorable edaphic conditions, such as unsuitable chemical, physical, and biological environments to cultivated crops.

The cropping of naturally acid soils can induce particular problems such as aluminium and eventually manganese toxicity, together with leaching of potassium, calcium, and magnesium cations, decreasing negative charges inducing fixation of phosphate and sulfate anions and the decrease in assimilability of micronutrients, in particular molybdenum and zinc (BOYER, 1978 ; UEHARA and KENG, 1975 ; SANCHEZ et al., 1983 ; PIERI 1974). DABIN (1984) suggest that the aluminium toxicity risks can vary with the clay nature ; likewise the potassium reserves for instance, depend on mineralogical reserves. These soils are generally considered as well structured and resistant to dispersion even under cropping (UEHARA and KENG, 1975 ; JONES and UEHARA, 1973). However, evolutionary processes identified by BOULET et al. (1982) in Guyane or observed by HAINNAUX (personnel communication) in Ivory Coast under pineapple suggest that structural reorganization is possible under natural cover or in a cultivated field by formation of a plowing sole. On a slope, even gentle, sheet erosion can induce the loss of humiferous and fertile surface horizons and allow the very poor and the very acid subhorizons to come to the surface (ROOSE, 1980 ; VALENTIN, 1981 ; SERVANT, 1974 ; LATHAM et al., 1983 ; KILIAN, 1984). To these chemical and physical causes we have to add biological causes, such as decreasing organic matter and its transformation in more complex polymers (DUCHAUFOR and MANGENOT, 1956, 1957), lowering biological activity, and in particular nitrogen regulators, and increasing numbers of root pathogen agents such as nematodes.

Concerning medium acid soils, physical causes such as collapse of structure, migration of clay, hydromorphism, erosion, were more frequently given as compared to chemical causes. We still have to note manganese toxicity shown in the Niari Valley (MARTIN, 1970). The speed of the degradation

avancées que les causes chimiques. Encore faut-il citer les cas de toxicité manganique mis en évidence dans la vallée du Niari (MARTIN, 1970). La vitesse du processus de dégradation de ces sols peut d'ailleurs être étonnante comme l'ont montré FAUCK *et al.* (1969) et CHAUVEL (1977) en Casamance dans le Sud du Sénégal.

Il apparaît donc évident que, tant pour les sols naturellement acides, que pour les sols s'acidifiant après mise en culture (PIERI 1983), les critères de la fertilité sont loin d'être seuls à prendre en compte. Les critères constitutifs (nature des minéraux et des matières organiques), organisationnels et fonctionnels, sont autant de facteurs à étudier simultanément aux critères chimiques, pour mieux comprendre et mieux traiter les transformations prenant place dans ces sols au cours de leur mise en culture.

3. OBJECTIFS À ATTEINDRE

Les diverses techniques utilisées pour mettre en valeur les sols tropicaux acides : amendements calciques et organiques, fertilisation, mécanisation, recherches variétales ont permis dans certains cas de trouver des solutions ponctuelles intéressantes. Elles ont cependant bien souvent échoué au niveau de l'application tant pour des cultures vivrières que pour des cultures de rente par l'inadaptation de certains moyens aux sols considérés ou par absence de prise en compte de facteurs naturels ou humains limitatifs.

Face à l'actuel développement démographique des régions tropicales, les schémas de mise en valeur des terres actuellement utilisés présentent des limites :

— la monoculture de rente ou vivrière pratiquée en important des techniques en provenance des zones tempérées, est souvent hors de portée financière et technique des populations concernées et présente de forts risques de dégradation, souvent irréversibles, du patrimoine sol ;

— la culture traditionnelle, avec de longues jachères, risque rapidement de trouver ses limites par manque de terres.

La mise au point de techniques facilement applicables, permettant d'utiliser les ressources pédologiques de façon continue, sans destruction du patrimoine sol, constitue donc l'objectif à atteindre. Pour cela il est indispensable :

— de bien connaître le milieu : géomorphologie, sols, régime hydrique, stabilité et instabilité, cycle biologique, conditions socio-économiques avant toute mise en place d'une expérimentation ;

— d'intégrer l'ensemble de ces éléments dans l'expérimentation ;

— de contrôler le système à tous les niveaux au cours de l'expérimentation ;

— de tenter de trouver des systèmes cultureux stables et économiquement viables à divers niveaux d'intervention, systèmes compatibles avec la technicité locale et non au seul niveau maximum souvent irréaliste.

— de pouvoir extrapoler les résultats obtenus, d'où la nécessité de la prise en compte des systèmes morpho-

process of the soils may be very high as shown by FAUCK et al. (1969) and CHAUVEL (1977) in Casamance in the south of Senegal.

This shows us evidence for the naturally acid soils as well as for soils becoming acid under cropping (PIERI, 1983) that other criteria than the chemical soils fertility criteria have to be taken into consideration. Other criteria such as constitution (mineralogical composition and organic matter) structure and dynamic are other factors to be studied simultaneously with the chemical criteria in order to better understand and handle the transformations, occurring during cropping.

3. OBJECTIVES

The various techniques used to manage acid tropical soils, such as liming and organic amendements, fertilization, mechanization, plant breeding allowed in some cases to find interesting site-specific solutions. Techniques were often inadapted to the soils considered while natural factors and human limitations very often affected the wide application of the results on food crops as well as cash crops.

In view of today's demographic explosion in tropical regions, actual soil management has certain limitations :

1. Monoculture of cash crop or food crop importing temperate zone techniques is often financially and technically out of reach for the concerned populations and have very high degradation risks, very often irreversible, of the soil.

2. The traditional cropping with very long fallow risk to find limits by lack of soil.

New techniques, easy to apply, allowing to use soil resources continuously without destructing the soil would be the final objective. Therefore, it is absolutely necessary :

1. To know the environment : geomorphology, soils, soil water regime, stability or instability, biological cycle, socio-economic conditions before setting up an experiment.

2. Integrate all these elements in the experimental design.

3. Control the system at all levels during the experiment.

4. Try to find stable and economically viable cropping systems within several intervention levels that would be compatible with local techniques and not only at the maximum, very often unrealistic.

5. Be able to extrapolate the results but therefore we need to account for morpho-pedological systems at the inventory level as well as the experimental level.

pédologiques tant au stade de l'inventaire qu'à celui de l'expérimentation.

4. DÉMARCHE

La démarche proposée pourrait se faire en quatre phases :

(a) LA PREMIÈRE ÉTAPE sera la recherche d'un secteur représentatif d'une zone de sols acides ou susceptible de s'acidifier rapidement et présentant des problèmes de développement importants. Cette recherche se fera à partir des documents existants et devra permettre de délimiter un secteur de 400 à 500 ha présentant des systèmes morpho-pédologiques apparemment comparables dont on fera une analyse d'inventaire pour identifier les systèmes et leur répétitivité et pour estimer leur dynamique.

(b) LA DEUXIÈME PHASE portera sur l'établissement d'un diagnostic de départ qui consistera :

— *sur une unité morpho-pédologique* de ce secteur, caractéristique et répétitive :

. en une analyse de l'organisation du paysage, des caractères de surface du sol, et de la végétation.

. en une estimation de l'évolution du paysage par évaluation de la stabilité ou de l'instabilité (bilan morphogénèse-pédogénèse).

. en une analyse de l'organisation de la couverture pédologique à toutes les échelles, du macroscopique à l'ultramicroscopique, de la nature et des caractéristiques de ses principales phases et des relations pouvant exister entre elles en insistant sur les relations entre les caractéristiques chimiques liées au complexe d'échange et tous les autres aspects concernant la nature des constituants ou leur organisation.

. en une étude du fonctionnement de cette couverture pédologique par des observations sur la circulation des eaux superficielles et internes pouvant être réalisées en saison des pluies.

. en une évaluation des caractéristiques de l'activité biologique et en particulier des agents responsables de la dynamique de l'azote.

. en un diagnostic de l'état phytosanitaire du secteur.

— *sur l'ensemble du secteur*

. en l'étude de l'histoire agricole et des principaux faits ayant marqué la zone : feux, cyclones, séismes...

. en la reconnaissance des techniques culturales pratiquées dans la région ;

. en l'étude du contexte socio-économique pouvant permettre ou inhiber l'introduction de telle ou telle technique.

(c) LA TROISIÈME PHASE portera sur l'établissement d'un diagnostic végétal consistant à la mise en place et le suivi de deux à trois cultures dont au moins une céréale et une légumineuse. Ces cultures seront implantées suivant des pratiques compa-

4. APPROACH

The proposed approach could be done in four phases :

(a) *THE FIRST STEP would be the research and identification of the representative sector presenting acute development problems in a acid soil zone or soils susceptible to become acide very quickly. This research could be done from existing maps and other documents and would allow to identify sectors of 400-500 hectares with apparently similar morpho-pedologic systems, whose inventory will be drawn up in order to identify these systems and their recurrence and to evaluate their dynamics.*

(b) *THE PASE 2 would be devoted to the diagnosis at the starting point and would consist of :*

1. *On one morpho-pedological unit of the sector, which would be representative :*

a. *An analysis of landscape and characteristics of soil surface and vegetation.*

b. *An estimation of the evolution of the landscape by evaluating the stability or the instability (morphogenesis and pedogenesis).*

c. *An analysis of the soil mantle organization at all levels, from macroscopic to ultramicroscopic, of the nature and characteristics of the main phases and the relationships that could exist between them insisting on the relations between chemical characteristics of the exchange complex and all other aspects concerning the nature of the constituents and their organization.*

d. *Study the behavior of the soil mantle by observing both superficial and deep water movements during the rainy season.*

e. *Evaluation of the biological activity characteristics, in particular the agents responsible for the dynamics of nitrogen.*

f. *Diagnostic of the phytosanitary status in the sector.*

2. *On the whole sector :*

a. *Study the agricultural history and main facts that influence the zone, fires, cyclones, seisms, etc.*

b. *An inventory of agricultural techniques of farming systems practiced in the region.*

c. *Study the socioeconomic context allowing or objecting to the introduction of one or the other technique.*

(c) *THE THIRD PHASE will consist of establishing vegetal diagnostic consisting of planting and followup of two or three crops of which one would be cereal and another a legume. These crops will be planted according to locally practiced techniques on strips crossing all lateral variations of the soil and their agronomic followup would go on for 1 or 2 years in order to examine their reaction to the environment.*

In parallel, observations and analysis would be conduc-

tibles avec l'agriculture locale, sur des bandes recoupant l'ensemble des variations latérales de la couverture pédologique, et leur suivi agronomique sera mené pendant un à deux ans afin d'examiner leur réaction face au milieu.

Parallèlement des observations et des analyses seront conduites sur la micro-climatologie locale, les variations de l'état de surface du sol et les mouvements des particules, sur l'évolution des porosités et des circulations hydriques internes, sur les variations des caractéristiques chimiques — richesse en éléments fertilisants, complexe d'échange, matière organique — et sur une estimation de l'activité biologique et de l'état phytosanitaire.

(d) LA QUATRIÈME PHASE portera sur l'étude de divers traitements à différents niveaux d'intervention compatibles avec une évolution prévisible des techniques locales. Elle partira des données acquises au cours du diagnostic végétal et tentera de définir des systèmes de cultures stables.

Ces traitements auraient pour objet de :

— rétablir des rapports ioniques dans les colloïdes du sol et la solution du sol, qui soient favorables à la croissance végétale (rapport Al^{+++} ech/CECe (1), K^+/Ca^{++} , Mg^{++}/Ca^{++} ...).

— accroître le pouvoir tampon du sol cultivé (variations brutales de pH en cours de culture en fonction de l'état hydrique du sol et des apports minéraux) par des amendements minéraux et/ou organiques.

— maintenir l'organisation structurale et la porosité (bon drainage, réserve en eau, pénétrabilité par les racines).

— préciser, par l'étude détaillée de l'évolution des sols amendés, les limites spatiales (mode d'apport, localisation) et temporelles (fréquence d'application) des interventions techniques conseillées (amendement, fertilisation, préparation du sol) pour s'assurer d'un redressement permanent et stable de la capacité de production végétale du milieu physique traité.

Ces traitements seront réalisés à différents niveaux d'énergie disponible et en pratique dans le cadre de systèmes de culture attelée et en système motorisé.

5. MÉTHODES

Les méthodes à mettre en œuvre pour réaliser cette étude de la fertilité des sols acides tropicaux résultent de la démarche précédemment décrite. Il nous semble ainsi indispensable :

— que les dispositifs et les traitements du sol et des plantes soient adaptés aux conditions naturelles et socio-économiques du site expérimental ;

— que les méthodes d'inventaire, de mesure, et de contrôle puissent être standardisées.

Sans entrer dans le détail des méthodes qui feront l'objet d'une note ultérieure, nous pensons qu'il est indispensable d'associer :

ted on microclimatological conditions, the variations of the surface soil and movements of particles, on the evolution of porosity and water movements in the profile, on the variation of chemical characteristics-fertility level, the exchange complex, organic matter and the estimation of the biological activity and phytosanitary status.

(d) THE FOURTH PHASE would consist of evaluation of different treatments at different intervention levels compatible with forecasted evolution of the local techniques.

This will start from know data during the diagnostic phase and will try to define stable cropping systems.

These treatments will have as objectives :

1. To reestablish ionic ratio in the soil colloids and soil solution that will induce plant growth, (the adequate exchangeable aluminum/effective exchangeable capacity ratio, potassium/calcium ratio, magnesium/calcium ratio, etc...).

2. Increase the buffering capacity of uncultivated soil (drastic changes of pH during cropping as a function of the soil moisture content and the fertilizer applications) by mineral fertilization or organic amendments.

3. Maintain the structural organization and porosity (good drainage, good water-holding capacity, good root penetration).

4. By detailed study of the amended soil, define the spatial limits (application methods, localization) and timing of the introduced techniques (amendments, mineral fertilization, land preparation) in order to ensure permanent improvement and stability of crop production in that particular environment.

Those treatments would be established at several energy levels and in practical systems with animal traction and mechanical power.

5. METHODOLOGY

The methodology to use for studying tropical acid soils will be resulting from the approach that we just described. To us it is thus absolutely necessary that :

(a) The design of experiment and the treatment applied on the soils and the plants be adapted to the natural conditions and the socioeconomics of the experimental site.

(b) That survey methodology, measurements, and the follow up be done in a standardized way.

Without entering into the details of the methodology that will be discussed in a later paper, we think it is necessary to associate :

(a) The structural to microstructural analysis of the soil mantle (definition of active microsities).

1. CECe — Capacité d'échange cationique effective.

- l'analyse structurale et microstructurale des couvertures pédologiques (définition de microsites actifs) ;
- aux analyses chimiques, aux mesures de propriétés de surface (énergies d'absorption, point de charge nulle), et à la répartition des éléments dans les différentes phases du sol par analyse à la microsonde ;
- à des études de fonctionnement hydrique et éventuellement gazeux ;
- à des estimations de l'instabilité du milieu et donc de sa susceptibilité à l'érosion ;
- à des évaluations de l'activité biologique...

Il nous semble en effet indispensable d'associer toute une série de méthodes et de techniques différentes afin de tenter de relier entre eux les problèmes chimiques, physiques, biologiques et ainsi de mieux comprendre les mécanismes liés à la perte de fertilité de sols acides tropicaux en vue de les traiter de façon durable.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient R. BOULET et R. MOREAU pour avoir relu ce texte et avoir permis de l'améliorer.

(b) *To the chemical analysis and measurements of surface properties (absorption energies, zero point of charge), and the distribution of the elements in the different phases of the soil, by microprobe analysis.*

(c) *To the study of the water and eventually the air movements into the profile.*

(d) *To the evaluation of instability of the environment and thus its susceptibility to erosion.*

(e) *To the evaluation of biological activity.*

It seems indeed necessary to associate a whole series of methodologies and techniques in order to try to link together chemical, physical and biological problems and by doing so better the mechanics involved in the loss of fertility in tropical acid soils in order to find long-term solutions.

Aknowlegments

The authors thank R. BOULET et R. MOREAU for having rewed this text and P. ROUSSEAU for a draft translation.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUDOU (A.G.), CHATELIN (Y.), COLLINET (J.), MARTIN (D.), SALA (G.H.), 1977. — Notes sur la micromorphologie de certains sols ferrallitiques jaunes des régions équatoriales d'Afrique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 4 : 361-380.
- BLANCANEUX (P.), ARAUJO (J.), 1982. — L'action déterminante de l'homme et du climat actuel sur l'évolution des sols et des savanes du sud du Venezuela, Territoire fédéral de l'Amazonie. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIX n° 2 : 131-150.
- BOULET (R.), 1974. — Toposéquences de sols tropicaux de Haute Volta. Equilibre et déséquilibre paléoclimatique. Thèse Doct. Sci. Strasbourg et *Mém. ORSTOM* n° 85 (1978) 282 p.
- BOULET (R.), HUMBEL (F.X.), LUCAS (Y.), 1982. — Analyse structurale et cartographie en pédologie I.II.III. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIX n° 4 : 309-352.
- BOYER (J.), 1978. — Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides. *Initiation — Documentation technique* n° 35. ORSTOM Paris.
- CHAUVEL (A.), 1977. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons sèches contrastées. Thèse Strasbourg. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, n° 62, Paris.
- DABIN (B.), 1984. — Les sols tropicaux acides, ORSTOM Bondy, 15 p. *multigr.*
- DUCHAUFOR (Ph.), MANGENOT (G.), 1956-1957. — Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus. *Ann. Agron.* 1956 n° 2, p.159-182, 1957 n° 4 : 573-583.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (C.), 1969. — Bilan d'évolution des sols de Séfa, Casamance, (Sénégal) après 15 années de culture continue. *Agronomie tropicale* XXIV n° 3 : p.263-301.
- FRITSCH (E.), 1984. — Les transformations d'une couverture ferrallitique. Analyse minéralogique et structurale d'une toposéquence sur schistes en Guyane Française. Doct. spécialité. Paris VII, 188 p.
- GOODLAND (R.J.A.), IRVIN (H.S.), 1975. — Amazon Jungle : green hell. To red desert ? Elsevier Amsterdam.
- HAINNAUX (G.), 1984. — Note sur le problème d'acidification des sols en Haute Volta et Côte d'Ivoire. Rap. Interne ORSTOM, Abidjan, 3 p.
- JONES (R.), UEHARA (G.), 1973. — Amorphous coatings on mineral surfaces. *Soil. Sci. Soc. Proc.* : 119-126.
- KILIAN (J.), 1981. — L'évolution de la stabilité et de l'instabilité du milieu dans la cartographie morpho-pédologique à but d'aménagement, United Nation. University. Atelier de Travail. Institut de Géographie. Université de Berne.
- KILIAN (J.), 1984. — Détection de l'érosion à l'échelle du paysage. Exemples sous climat tropical Conf. au 59^e SIMA DU CEEMAT.
- LATHAM (M.), BROOKFIELD (H.C.) *et al.*, 1983. — Iles Fidji orientales. Etude du milieu naturel de son utilisation et de son évolution sous l'influence humaine. *Trav. et doc. de l'ORSTOM* n° 162.
- LEPRUN (J.C.), 1979. — Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale sèche. Genèse, transformation, dégradation. Th. Doc. Sc. Strasbourg et *Mém. Sc. Géol.* Strasbourg, 58-224 p.
- MARTIN (G.), 1970. — Synthèse agro. pédologique des études ORSTOM dans la vallée du Niari, en République du Congo, Brazzaville. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VIII, n° 1 : 63-80.
- MULLER (J.P.), 1977. — Microstructuration des structichrons rouges ferrallitiques, à l'amont des modelés convexes (centre Cameroun). Aspect morphologique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 3 : 239-258.
- PEDRO (G.), CHAUVEL (A.), MELFI (A.J.), 1976. — Recherches sur la constitution et le génèse des terra roxa estructurada du Brésil. *Ann. Agron.* vol. 27, n° 3 : 265-274.
- PICHOT (J.), SEDOGO (M.P.), POULAIN (J.F.), ARRIVETS (J.), 1981. — Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence des fumures minérales et organiques. *Agro. Trop.* 36 (2) : 123-133.
- PIERI (C.), 1974. — Premiers résultats expérimentaux sur la sensibilité de l'arachide à la toxicité aluminique. *Agro Trop.* 29 (6-7) : 687-696.
- PIERI (C.), 1983. — Nutrients balance in rainfed farming systems in arid and semi-arid region. 17th Coll. IIP Marrakech : 113-141.
- ROOSE (E.J.), 1980. — Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matière, sous végétations naturelles et cultivées. Thèse Doc. es. Sci. Univ. Orléans.
- SANCHEZ (P.A.), VILLACHICA (J.H.), BANDY (D.E.) 1983. — Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 47 : 1171-1178.
- SERVANT (S.), 1974. — Un problème de géographie physique en Polynésie française : l'érosion exemple de Tahiti. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, vol. X, n° 3/4 : 203-209.
- TURENNE (J.F.), 1975. — Mode d'humidification et différenciation podzologique dans deux toposéquences guyanaises. *Thèse Doct. Sci. Nancy. Mém. ORSTOM* n° 84, Paris, 1977 — 173 p.
- UEHARA (G.), KENG (J.), 1975. — Management Implications of Soil mineralogy in Latin America ; in *Soil Management in Tropical America* Bornemiza et Alvarado ed. : 351-363.
- VALENTIN (C.), 1981. — Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique Agadez-Niger. Dynamique de formation et conséquences sur l'économie de l'eau. Thèse 3^e cycle. Paris VI, 229 p.