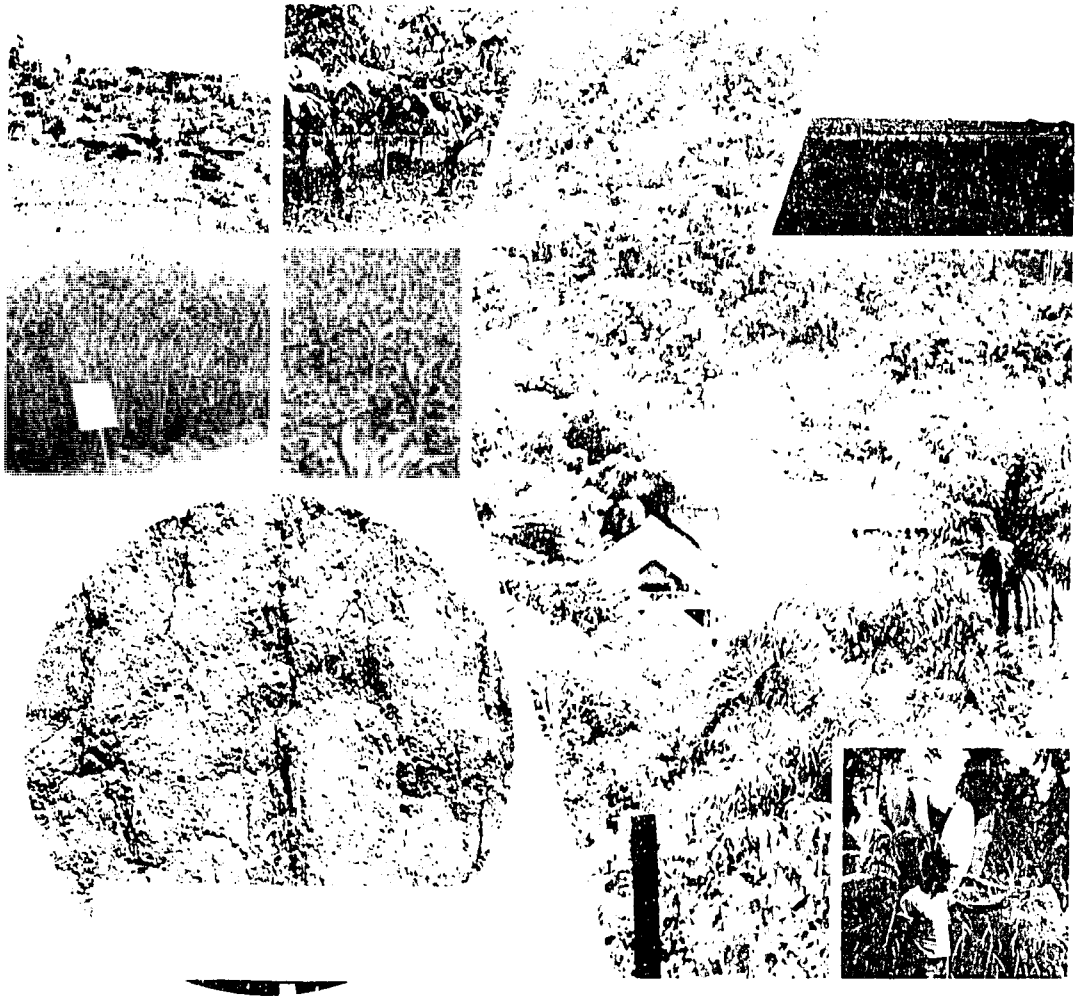
LAND DEVELOPMENT-MANAGEMENT OF ACID SOILS

DEFRICHEMENT-MISE EN VALEUR DES SOLS ACIDES



IESRAM PROCEEDINGS NO. 4
ISBN 974-87467-5-5

PN-AAX-704

9364111.2 L
ISN-5107

IBSRAM

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

ORSTOM

PROCEEDINGS OF THE
FIRST REGIONAL SEMINAR ON

LATERITIC SOILS, MATERIALS, AND ORES

JANUARY 21-27, 1986
SOUALA, CAMEROON

PREMIER SEMINAIRE REGIONAL SUR

LES LATERITES, SOLS, MATERIAUX ET MINERAIS

JANVIER 21-27, 1986
SOUALA, CAMEROUN

PROCEEDINGS OF THE IBSRAM SESSION ON

LAND DEVELOPMENT AND MANAGEMENT OF ACID SOILS IN AFRICA

COMPTE RENDU DE LA SESSION IBSRAM SUR LES

DEFRICHEMENTS ET MISE EN VALEUR DES SOLS ACIDES EN AFRIQUE

EDITED BY
M. LATHAM

IBSRAM
INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT
PO BOX 9-109 BANGKOK 10900 THAILAND. 1987

Best Available Document

The seminar was organized by

LE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE **(MESRES)**

L'INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN
COOPERATION **(ORSTOM)**

INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH
AND MANAGEMENT Inc. **(IBSRAM)**

Co-sponsored by

BUNDESMINISTERIUM FUR
WIRTSCHAFLICHE ZUSAMMENARBEIT **(BMZ)**
FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

Correct citation: International Board for Soil Research and Management Inc. (IBSRAM), 1987, Land Development and Management of Acid Soils in Africa, Proceedings of the IBSRAM session of the first regional seminar on Lateritic Soils, Materials and Ores, Douala, Cameroon, January 21-27, 1986. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without written permission of IBSRAM.

ISBN 974-87467-5-5

Printed in Thailand

2

CONTENTS

	Page
Foreword	5
Clearing and management of lateritic soils - first steps in the implementation of IBSRAM projects M. LATHAM	7
PART I: SITE SELECTION	15
Site selection in Zambia L. CHILESHE and O. SPAARGAREN	17
Choix des sites d'expérimentation au Cameroun : cas du site de Minkoameyos J. BINDZI-TSALA, L.R. AMBASSA-KIKI, P. BILONG et ONGUENE-MALA	27
PART II: SITE CHARACTERIZATION	39
Relations entre la porosité et le pédoclimat dans des sols du domaine ferrallitique au Cameroun F.X. HUMBEL	41
Soil surface crusting - some agronomic implications C. VALENTIN	53
Sols, surfaces et formes d'érosion linéaire en milieu ferrallitique de savane C. VALENTIN, E. FRITSCH et O. PLANCHON	67
Organic matter characteristics H.W. SHARPENSEEL	83
Utilisation des résidus agricoles (parche de café) en vue de l'amélioration de la fertilité de certains sols ferrallitiques en culture continue A. MOUKAM et E.D. TCHATO	101
Edaphic parameters for characterizing IBSRAM's acid tropical soils network sites P.A. SANCHEZ	113
Mineralogical characteristics of lateritic soils with special reference to site selection for soil management research A.S.R. JUO	125
Caractérisation du phosphore R.V. RAHARINOSY	135
PART III: ADAPTATION OF THE EXPERIMENTAL DESIGNS TO SITE CHARACTERISTICS	151
Analyse structurale des couvertures pédologiques et implantation d'essais agronomiques F.X. HUMBEL	153

	Page
Variations spatiales d'une couverture pédologique homogène et experimentation agronomique en basse Côte d'Ivoire R. MOREAU	163
APPENDICES	173
Appendix I: Resolutions	175
Appendix II: Program	177
Appendix III: Participants	179
Appendix IV: Guideline for national cooperator project proposals	182

4

FOREWORD

Shifting cultivation has for many years been the main way of using land in Africa, and indeed this is still the case today. This is particularly the practice with regard to poor acid soils which, according to the FAO, account for 56% of the land area in the humid tropical part of the continent. Shifting cultivation normally follows a standard procedure: land clearing, two to three years of mixed cropping, and eight to ten years of fallow. In this sequence, the soil fertility is regenerated during the fallow period, and hence the system is fairly sustainable.

However, the present increasing demand for land to feed a burgeoning population tends to limit the fallow period to such an extent that fertility cannot be resotred. Moreover, new lands are often cleared using destructive techniques, and this has resulted in such serious soil degradation and damage to the forest ecosystem as to make it a matter of worldwide concern. Only a few African countries are making the necessary efforts to conduct research on the proper technologies regarding forest clearing and the management of acid tropical soils on a sustainable basis. Besides, very little is done to disseminate the existing results in order to improve the farmers' practices.

In 1983, The International Board for Soil Research and Management (IBSRAM) was created to remedy this situation. The general aim of the organization has been defined as follows. "To promote sustainable improved soil management technologies in order to remove soil constraints to food and other agricultural production in developing countries." By way of applying this aim, IBSRAM decided to tackle two of the major soil management problems in humid tropical Africa, namely tropical land clearing for sustainable agriculture and the management of acid tropical soils. In this endeavour, IBSRAM was supported by the Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM) and the Bundesministerium für wirtschaflichte Zusammenarbeit (BMZ).

With this support, it was decided to convene a seminar on Lateritic Soils, Materials and Ores in Douala from January 21-27 1986. The term lateritic was chosen because of its non-restrictive connotations, which meant that it could be used by soil scientists, civil engineers and geologists interested both in the genesis, distribution and characterization of these tropical soil formations and in their use and management. The soils referred to here are mainly Oxisols and Ultisols in the Soil Taxonomy, and 'soils ferrallitiques' in the French classification system.

These proceedings include thirteen papers presented during the second session of the seminar. This session was organized by IBSRAM,

and has as its theme "Land Development and Management of Acid Tropical Soils in Africa." The papers have undergone a certain amount of formal editing with the assistance of Dr. C.R. Elliott, but the scientific content of the papers remains the responsibility of the authors. Recommendations for follow-up measures are presented at the end of the volume.

Participants concluded that there was an urgent need to establish an African network on "Land Development and Management of Acid Tropical Soils in Africa" under the director of IBSRAM as the coordinating organization. It is hoped that this network will eventually provide solutions to many of the problems raised during the seminar, and also a permanent framework within which all such issues can be addressed.

M. LATHAM
IBSRAM Director

CLEARING AND MANAGEMENT OF LATERITIC SOILS: FIRST STEPS IN THE IMPLEMENTATION OF IBSRAM PROJECTS

MARC LATHAM

Director IBSRAM, PO Box 9-109, Bangkhen, Bangkok 10900, THAILAND.

ABSTRACT

The presentation deals with site selection, site characterization, the design of experiments, and the first steps in the implementation of soil management projects, which are the main points to be covered during the IBSRAM session. They concern the two IBSRAM management networks, namely:

- Management of Acid Tropical Soils;
- Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture.

RESUME

DEFRICHEMENT ET MISE EN VALEUR DES SOLS LATERITIQUES:

PREMIERES ETAPES DANS LA MISE EN OEUVRE DES PROJETS IBSRAM

La discussion s'articule autour des quatre thèmes suivants :

- *choix des sites;*
- *caractérisation des sites;*
- *dessin des dispositifs expérimentaux; et*
- *premières étapes dans la mise en oeuvre des projets de mise en valeur des sols.*

Tels sont les principaux points abordés durant la session IBSRAM; ils concernent deux réseaux IBSRAM:

- *Mise en valeur des sols acides tropicaux; et*
- *Défrichement des forêts tropicales pour l'établissement d'une agriculture continue.*

Le choix des sites est la première clé pour le transfert des résultats obtenus. Il doit prendre en considération:

- *Les aspects socio-économiques qui sont nécessaires pour toute application des résultats obtenus.*
- *Les aspects physiques : systèmes sol, climat, modelé - qui doivent être vérifiés au niveau de la région en vue de s'assurer de la représentativité du site.*

La caractérisation des sites est la deuxième clé pour le transfert des résultats; elle est à la base de toute comparaison de ces résultats. La caractérisation des sites doit :

- *non seulement prendre en considération les aspects taxonomiques, mais surtout se concentrer sur les paramètres édaphiques;*
- *tenir compte des différenciations verticales et latérales des couvertures pédologiques par un échantillonage dense des parcelles;*
- *examiner la dynamique des sols liée aux mouvements d'eau sur la base d'un cycle climatique.*

Les dessins des dispositifs expérimentaux doivent prendre en compte les différenciations verticales et latérales quand elles existent.

Les premières étapes dans la mise en oeuvre des projets nationaux passent par :

- *la mise en oeuvre de la coordination des réseaux; et*
- *la mise en oeuvre des projets nationaux.*

Nous avons besoin maintenant de commencer quelques activités de réseau, même à une petite échelle.

INTRODUCTION

Land clearance and management problems in relation to lateritic soils, and IBSRAM's approach to these problems, can be summarized under the following headings:

1. site selection,
2. site characterization,
3. design of experiments,
4. first steps in the implementation of the soil management projects.

These are the main points that we have to discuss in these few days of the IBSRAM session. The International Board for Soil Research and Management Inc. (IBSRAM) has established three soil management networks during four inaugural workshops which took place in 1985. In this session we will concentrate on the two IBSRAM networks which are related to lateritic soils: 'Management of Acid Tropical Soils', and 'Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture'.

You have the network proposals which have been established during these workshops. Some of you have already presented national soil management projects, and others have brought project elements with them. We have now to find a way to start network activities.

For this purpose, this session will be divided into three major parts:

1. review papers on site selection, site characterization and the design of experiments, which will occupy the first day and a half;
2. working groups, which will look at the methodology which will be commonly accepted; and
3. a final plenary session which will examine the national project proposals, and will look at the first steps to be undertaken to implement these projects.

SITE SELECTION

Site selection is one of the most important aspects for soil management projects. It is the first key for the transfer of the results which are obtained. Site selection deals with two major considerations: (i) socioeconomic, and (ii) physical.

Socioeconomic considerations may appear to be very highly located in this hierarchy for soil management projects. They are the keys for the application of experimental results. The success of these networks will not be measured in terms of the sophisticated technologies which they produce; it will be measured in terms of the application of the technology which has been used. For this purpose, priority crops, priority areas, and priority for development targets in a country must be chosen, because if priorities are not carefully worked out, the results will not be of interest to anyone. This important aspect has been taken into account in the past, and most agronomic stations are well located as regards their suitability for serving practical purposes and priorities.

Investigations regarding the physical side of site selection, on the other hand, have often been poorly conducted. Too many agronomic experiments have been located on land selected by virtue of commodity availability or some other technical assets, without looking enough at the agro-environmental aspects which could determine its suitability. Poor physical characterization, or characterization done after the experiment has been completed, are very common mistakes in the tropics. This was not so important when testing germplasm, insecticides, herbicides or other plant-related practices. Good physical characterization becomes essential, however, when we look at soil management, because soils are strongly site-specific. Site selection must, then, proceed from a regional survey of the major physical aspects: climate, landform, soils.

In recent years, efforts have been made to overcome this difficulty. They concern:

1. a better characterization of the agronomic sites - but this concerns the sites and seldom the region;
2. multilocal trials, which have the advantage of erasing part of the variability due to the site specificity; but these also erase some of the results since they compare things which are not strictly comparable;
3. benchmark site projects, which are set up to validate the concept of agrotechnology transfer at the family level of the Soil Taxonomy and then to provide system analysis and crop simulation; but Soil Taxonomy is concerned almost exclusively with B horizons, whereas roots develop mainly in A horizons.

We can see that agronomists have tried to adapt more and more to the characterization of the physical environment in choosing their site, either by making a detailed characterization of the site, or by using a statistical approach, or even by choosing their site in accordance with its soil systems.

The first part of this seminar has shown the progress made in operating soil surveys. It has also shown the limit of this exercise on lateritic soil mantles regarding the scale of the surveys and the content of the soil units. One of the lessons of this seminar is that soils are not just a collection of pedons, but are organized systems which have lateral and vertical variations and which have a dynamic. Surveys should take into account our knowledge of these systems in order to give a clear image of the soil pattern.

We can see that this could be a long-term effort which might delay any further work on soil management, and in fact discourage those who might otherwise support this work. This means that in areas of interest for soil management, the existing data (with some reconnaissance surveys to complete them) should be used to identify the soil systems and locate the experimental sites. This is not an easy exercise and it may take some time to complete; but the degree to which it can be carried out accurately will determine the possibility of comparing results and of transferring these results to the surrounding farmers and eventually to other localities. Thus site selection appears as the first key to interested governments and potential donors. It secures the scientific basis of the project and allows the results to be transferred to other areas.

SITE CHARACTERIZATION

Site characterization is the second key for the transfer of the results and the basis of any comparison of these results with each another. At present, site characterization is largely envisaged as the characterization of one or more pedons in a site, with the

extrapolation of the results of the observation and analysis of this pedon being applicable to a more or less extended area. This procedure has the advantage of being rather simple, and should make it easy to harmonize. Morphologic descriptions and analysis can be standardized and thus can be compared with each other. The final product of this characterization is either a taxonomic denomination which integrates the different observed or analysed parameters, or a series of figures which are not always easy to manipulate.

These procedures present three major disadvantages:

1. Taxonomic characterization is complicated and not really designed for soil management.
   1.1 Taxonomic characterization is not always well understood. As Ray Isbell, with a touch of humour, pointed out in Townsville, Australia, "Soil classifications are known only by pedologists, and even some pedologists do not appear to understand some of their fundamental principles and limitations." So, we face a major difficulty which blocks understanding amongst pedologists themselves and between pedologists and others. The forum on Soil Taxonomy and other training courses should improve this situation in the future; and these training courses should not be restricted to pedologists but should also reach other users of soil science, and particularly agronomists.

   1.2 However, soil classifications will reach soil users if these users see a real interest in them. The integration of characters of the A horizons, where most of the edaphic parameters are located, is one of the conditions. Buol, Sanchez and others have presented technical classifications and the Fertility Capability Classification (FCC) is the most successful attempt in this field. But here again, dissemination of the principle of this system is important as well as any improvement in the system itself. One of the main outputs of these networks will probably be to test some of the characteristics of the FCC (and others) and to try to gain a better idea of what is important for plant growth. Thus a detailed taxonomic and edaphic characterization of the soils of the site, as well as a climatic and a landform characterization, are needed to enable us to compare and transfer the results of experiments.

2. Characterization with one or more pedon presumes that the area concerned is homogeneous or can be divided into homogeneous parcels. Yet we have seen that lateritic soils often present an important lateral and vertical differentiation and so are difficult to assemble in homogeneous units. Even on a rather homogeneous soil mantle, like the one derived from the tertiary sandstones of Ivory Coast and experiments

on cassava in Adiopodoume, have shown that slight variations in the soil granulometry or on the organic matter content can hide the treatment effect (de Boissezon, Bonzon, in oral communication). Thus while a general characterization is important, from a general point of view a dense sampling is compulsory to understand the lateral and vertical differentiation of the site. 'Dense' is a vague word which depends on the variability of the system, and must be tested.

3. Soil systems are not fixed systems. They present a dynamic linked to the movements of the water and of the ions and to the biological activity. Most soil observations are conducted during the dry season which hide some very important edaphic features like temporary waterlogging, ferrolysis, or porosity produced by worms. It must be stressed here that site characterization cannot be done by one visit by a pedologist, but should be based on observations made on one climatic cycle at least in order to understand the soil system dynamic.

Even with all this information, site characterization may not match exactly with an edaphic characterization because some important parameters may be forgotten or others over-emphasized. One way to overcome this difficulty is to use a test crop on the whole site with minimum inputs and to follow its behaviour uniformly. This will allow for checking site-measured parameters with vegetal parameters and will give a vegetal behaviour characterization.

DESIGN OF EXPERIMENTS

The design of experiments must take into account lateral and vertical differentiation of the site when these exist. Quadrangular designs which recut soil boundaries are unfortunate but not uncommon. They represent a waste of money because they prevent a good transfer of the obtained results, and may cast doubt on the validity of the results, as statistical processing uses Gaussian distributions which cannot fit with a differentiated substratum.

Thus we must adapt the design of experiments according to the lateral and vertical differentiation, bearing in mind the following principles:

1. On rather homogeneous soil mantles, experiments may be designed independently of the site characteristics. The small lateral and vertical variations should then be taken into account in the statistical treatment by the use of covariance factors.
2. On moderately differentiated soil mantles, areas presenting similar characteristics should be compared. But here we have to ensure what similar characteristics mean, because edaphic and analytical characteristics may differ.

3. On strongly differentiated soil mantles, like those of French Guiana, we cannot use the same methods. We may, then, have to question the statistical approach and use an observation approach (i.e. comparing site variation to plant growth and yield variations). This case may seem a little theoretical, but is in fact common since farmers often use transition areas (slopes, limits between major soil units) where nutrients and water are more available.

4. A last complicated case may also appear - the case of land covered with termite mounds or any other microvariability. Here too we need to determine how to design experiments when confronted with such a high microvariability. Should the plots be enlarged and treated as homogeneous systems, or should each microvariation be treated separately?

The designs of experiments are important, since we depend on them for the reliability of the results and their transferability. Design criteria are worth considering, and we will have an opportunity to give this matter some thought during this plenary session and in the working groups.

FIRST STEPS IN THE IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL PROJECTS

As things are at present, we now need to consider the first steps to be taken for the implementation of these projects. During this session we will discuss:

1. the methods to be used to implement the network activity so as to establish good coordination; and
2. the projects themselves, focusing on their most important aspects.

We will then need to know how to follow up the network activities. Some donors have expressed interest in funding the coordination aspects of the two networks: Management of Acid Tropical Soils and Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture. By the end of the year we may have a network coordinator for these two networks. Other donors have expressed interest for bilateral projects, and sound realistic projects will be the best guarantee for any external support. External funding on a bilateral basis for national projects is mainly the responsibility of the cooperators. IBSRAM can help in refining projects and in carrying them through, but IBSRAM is not a donor and has no funds except for coordination purposes. IBSRAM can support you in your requests to donors, but cannot act in your place.

Let us now work out a strategy:

1. Some of you already have programs running in these two fields. The question is, how can we integrate them into the network - if this is what you wish to do?

2. Others would like to start some activities, have sound realistic project proposals, and have some funds to start some operations. What kind of activity could take place in the near future to start implementing these projects? Starting some activities may show the potential donors the strong interest of your country and may be a plus in future negotiations.

3. Others again may have sound and realistic projects but no funds. They must try to get funds - and in the meantime participate in the network activities, notably meetings and training courses.

In any case, the network activity should start with a site selection (or a confirmation of the suitability of the existing site), with a site characterization, and - depending on the availability of funds - with one or more experiments. A first vegetal characterization of the site would be a reasonable start, but perhaps some limited trials on specific points could also be envisaged. This session should help us to define these points.

CONCLUSION

Inaugural workshops have occurred this past year and some project proposals have been prepared. We now need to implement these projects by harmonizing them with sound realistic objectives and starting some network activities. As has frequently been pointed out, IBSRAM is not a donor agency: it will help you to draw up good projects, to present them to donors, and to carry them out as a coordinated activity. The targets of these networks are important for the development of your country and for stimulating your enthusiasm - as we are encouraged to think by the positive reaction of many donors to requests for promoting networking activities. We must now move from conceptual projects to real programs. If we can maintain some momentum in actively working together, the success of the networks will be assured.

PART I: SITE SELECTION

SITE SELECTION IN ZAMBIA

LAZAROUS CHILESHE
Soil Surveyor, Soil Survey Unit,
P.O. Box 710072, Mansa, ZAMBIA

OTTO SPAARGAREN
Soil Correlator, Soil Survey Unit,
Private Bag 7 Chilanga, ZAMBIA

ABSTRACT

Since colonial times, agronomic research has been carried out at a number of regional research stations and substations in Zambia. In the agronomic trials, however, soils were often not taken into account. Recently the Soil Survey Unit initiated the benchmark approach. Three types of sites are recognized: agronomic trial sites, pedological research sites, and training sites. The logistical requirements for each type of site is outlined.

Of the 25 benchmark sites identified so far, a number are situated in the high rainfall zone of Zambia (precipitation exceeds 1000 mm) and are classified as so-called acid tropical soils. Data and background information are presented for three sites and four soil units which are proposed for inclusion in IBSRAM's Acid Tropical Soils Management Network. Also one site is proposed for incorporation into IBSRAM's Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture Network.

RESUME

CHOIX DE SITE EN ZAMBIE

Depuis l'époque coloniale, la recherche agronomique a été menée dans un certain nombre de sous-stations et soustations de recherche régionales en Zambie. Le plus souvent, cependant, les sols n'ont pas été pris en compte dans les essais agronomiques. Ce n'est que

récemment que l'unité de cartographie des sols a initié la création d'une approche par site de référence. Trois types de sites sont reconnus : des sites d'essais agronomiques, des sites de recherche pédologique, et des sites de formation. Les spécifications logistiques pour chaque type de site sont résumées.

Parmi les 25 sites de référence identifiés jusqu'à présent, un certain nombre sont localisés dans la zone à forte pluviométrie de Zambie (précipitation moyenne annuelle supérieure à 1000 mm) et sont classés comme sols tropicaux acides. Les résultats et les informations de base sont présentés pour trois sites et quatre unités de sols qui sont proposés au réseau de mise en valeur des sols acides tropicaux de l'IBSRAM. Un site est aussi proposé pour le réseau IBSRAM de défrichement pour une mise en valeur agricole continue.

INTRODUCTION

Agronomic research in Zambia dates back to colonial times, when it was carried out at research stations situated along the railway line (Ndola-Livingstone), mainly to serve the commercial farming community. The sites of the research stations were selected according to logistics (near to farming communities), climatological conditions (high, medium and low rainfall areas), and soils. Although the soils were taken into account (McPhillips, 1965), agronomic trials were often carried out irrespective of the soils.

After independence in 1964, Zambia inherited the seven existing research stations, and the number was subsequently increased so that every province had its own. Also research substations were created in areas where soil and/or agro-climatological conditions differed strongly from these pertaining in the main research stations.

Altogether Zambia has one central research station (Mount Makulu), nine regional research stations and seven research substations. Over the years, however, research activities have steadily dropped due to lack of trained staff and funds. In a recent study entitled *A Strategy for Agricultural Research*, the World Bank in fact recommends closing down a number of stations and substations and concentrating research activities on a few, well-characterized stations.

The benchmark approach, initiated by the Soil Survey Unit of the Department of Agriculture a few years ago, fits well into this new strategy. It aims to select sites with agriculturally important soils in the various agroclimatic zones of Zambia, to undertake a full characterization of the sites, and to use them for interdisciplinary agricultural research.

SELECTION CRITERIA FOR BENCHMARK SITES

Three types of benchmark sites are recognized in Zambia:

Sites with agriculturally important soils to be used for agronomic research

The soils of these sites may cover a large area, but from the point of view of their productive capacity are of low quality; or they may only cover a small area but be of high quality. Since these sites are used for field experiments, they must be located at convenient places with logistic supports. The selection criteria taken into account are: the presence of an infrastructure and communications, the presence of trained professional and technical staff, and the presence of a fully operational, well-equipped weather station. The site should preferably be "virgin" so that changes in the soils as a result of land clearing and management practices can be monitored from the start. These criteria usually limit the selected sites to the research stations, farmers' training centres, agricultural camps, and state or private farms.

Pedological research sites

A number of soils in Zambia have very little agricultural potential, yet they occupy large areas. Examples are the Spodosols (Podzols) in western Zambia and the soils of the hilly, dissected regions. As very little is know about soil development and soil processes in Zambia, these sites are used for full pedological characterization. They do not require the facilities mentioned under (1) and, consequently, can be located anywhere in the country. However, when monitoring has to take place (e.g. to determine the fluctuation of groundwater levels), they must be located near to places where personnel is available to make the necessary observations.

Training sites

Although in principle all benchmark sites can be used for training, some sites have been established that are neither interesting for agronomic nor for pedological research. However, they do exhibit interesting features in relation to soil classification, profile morphology or interpretation of soil data that makes them useful to train Zambian staff. These types of sites already have proved their value during the XI International Forum on Soil Taxonomy and Agrotechnology Transfer, which was held in Zambia in July 1985.

So far, twenty-five sites have been identified (see Table 1) and almost all of them have been pedologically characterized. Twenty of the sites have been described, sampled, and analyzed in cooperation

Table 1. Location, classification and main features of Zambian benchmark soils.

No.	Location	Zambian Soil Series	USDA Soil Taxonomy	Main Features
1.	Misamfu Regional Res. Station, NOP	Mufulira*	clayey, mixed, isohyperthermic Oxic Paleustult	Acid, low fertility soil with structural and erosion problems
2.	-do-	Misamfu Red*	fine-loamy, siliceous, isohyperthermic Oxic Paleustult	Acid soil with moderate fertility down to about 60 cm
3.	-do-	Misamfu*	fine-loamy, siliceous, isohyperthermic Oxic Paleustult	Acid soil with low fertility throughout
4.	Mbala, NOP	Katito*	clayey, kaolinitic, iso(hyper)thermic Oxic Paleustult	Acid soil with low fertility throughout
5.	Mpika, NOP	Malasni*	fine, oxidic, hiperthermic Oxic Parhodustalf	Moderately fertile soil with limited extent on basic rocks
6.	Kabwe, CEP	Mukumbi**	fine, kaolinitic, isohyperthermic Oxic	Moderately fertile soil with structural problems
7.	Kabwe Regional Res. Station, CEP	Mushemi***	fine, kaolinitic, isohypertnermic Oxic Paleustalf	Moderately fertile soil with clear kandic horizon
8.	Mbushi, CEP	Chibesakunde*	fine-loamy, siliceous, isohyperthermic Oxic Paleustalf	Moderately fertile soil with potential structural problems on a virgin site
9.	Mpongwe	Mpongwe*	clayey, mixed, isohyperthermic Orthoxic Ustic Palehumult	Fertile soil over limestone
10.	Mufulire Regional Res Station, COP	Mufulira*	fine-loamy, siliceous, isohyperthermic Typic Haplustox	Low fertility soil
11.	Shilende, NWP	Shilende**	clayey, kaolinitic, isohyperthermic Oxic Paleustult	Low fertility soil with clear kandic horizon
12.	Mutande Regional Res. Station, NWP	Meheba*	clayey, kaolinitic, iso(hyper)thermic Haplic Acrustox	Low fertility soil with very low activity clays
13.	University Farm, LUP	Chelston*	fine, mixed, (iso)hyperthermic Oxic Rhodic Paleustalf	Moderately fertile soil, site incorporated in IBSNAT network
14.	Kafue, LUP	Kafue*	fine, mixed, isohyperthermic Typic Chromustert	Cracking clay with aquic moisture regime
15.	Magoye Regional Res. Station, SOP	Nakambala*	fine-loamy, mixed, hyperthermic Oxic Paleustalf	Moderately fertile soil with medium activity clay (CEC is about 20 cmol (NH_4^+)/kg clay)
No.	Location	Zambian Soil Series	USDA Soil Taxonomy	Main Features
16.	Mochipapa Regional Res. Station, SOP	Choma*	fine-loamy, mixed, hyperthermic Oxic Paleustalf	Moderately fertile soil with low activity clays (CEC is about 10 cmol (NH_4^+)/kg clay)
17.	Kabuyu, SOP	Kabuyu***	siliceous, hyperthermic Oxic Psammentic Paleustalf	Sandy soil on boundary of Paleustalfs and Ustipsamments
18.	Mongu, WEP	Kande**	sandy, siliceous, isohyperthermic Arenic Ustic Tropohumod	Deep tropical podzol with evidence of development under wet conditions
19.	Mangango, WEP	Mangango*	clayey, kaolinitic, isohyperthermic Oxic Paleustult	Moderately leached low fertility soil
20.	Liteta, CEP	Liteta***	fine, mixed, isohyperthermic Udic Paleustoll	Moderately leached soil with high OM content and high activity clay
21.	Makeni, LUP	Makeni*	fine, mixed, ischyperthermic Udic Paleustoll	Moderately leached soil with high OM content and high activity clay
22.	Chafukuma, NWT	Chafukuma*	clayey, mixed, isothermic Typic Haplohumox	Moderately leached soil with high OM content and low activity clay
23.	Mongu, WEP	Bulozi*	fine, mixed, isohyperthermic Abruptic Tropaqualf	Wet clayey soil with Zambezi River flooding regime
24.	Mkoma, EAP	-**	Udic Paleustult - Psammentic Tropaquent transition	Catenary sequence from well-drained upland to poorly drained dambo
25.	Kabare, WEP	Kabare*	fine-loamy siliceous, isohyperthermic Oxic Paleustult	Moderately productive soil with very light textured topsoil

* Agronomic trial site ** Pedological research site *** Training site

Best Available Document

with the Soil Management Support Services (SMSS) and the National Soil Survey Laboratory (NSSL) at Lincoln, Nebraska, USA. The other five have been described and analyzed by the Soil Survey Unit.

Two of the benchmark locations, i.e. Misamfu Regional Research Station in Northern Province and the newly proposed and developing Mutande Regional Research Station, could provide suitable sites both for IBSRAM's Acid Tropical Soils Management Network and the Land Clearing and Development Network. In addition, the Luapula Regional Research Station at Mansa could be a suitable alternative for one of the benchmark soils at Misamfu, namely the Mufulira Series, which is far more extensive at Mansa than at Misamfu.

SITE CHARACTERIZATION OF MISAMFU, MUTANDE AND MANSA

A brief site and soil characterization of the potential network sites in Zambia, all located in the northern and northwestern part of the country, the so-called high rainfall zone, is given below.

Misamfu Regional Research Station

The station is located about 8 km north of Kasama in Northern Province along the road to Mbala. The altitude ranges from 1350-1400 m a.s.l. and it covers an area of about 425 ha. At present it is extended by another 100 ha.

Agroclimatologically it falls in zone 29 (Veldkamp *et al.*, 1984) with a growing season at 70% probability of 140-170 days, but with low radiation and relatively low temperatures in the growing season (see Table 2). The research station is underlain by Precambrian quartzites, grits, argillites, slates and schists of the Kibaran System (Basement Complex). The native vegetation of the uplands consists mainly of Brachystegia-Julbernardia woodlands.

A soil survey at a scale of 1:4000 was carried out in 1975 (Van Sleen, 1976). About 42% of the area is occupied by the Misamfu Series, a member of the fine-loamy, siliceous, isohyperthermic family of the Oxic Paleustults. About 5% is covered by the Mufulira Series, a member of the clayey, mixed, isohyperthermic family of the Oxic Paleustults. Both soils are designated as Zambian benchmark soils.

The Misamfu Series comprises well drained, red (2.5 YR 4/6) to strong brown (7.5 YR 5/6-8), very deep, fine-loamy soils with a sandy loam to sandy clay loam topsoil. The relative clay increase for the A horizon to the control section varies between 20 and 150%, but is generally between 50 and 100%. Soils of the Misamfu Series have a low base saturation and are dominated by low activity clays. Analytical data for a Misamfu sandy loam and a Misamfu sandy clay loam, red phase, are presented in the appendix.

Table 2. Main climatological data of Misamfu, Mutande and Luapula regional research station.

Rainfall mm		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Year
Misamfu		304	232	261	104	20	0	0	0	3	18	128	256	1326
Mutande		268	227	242	60	7	0	0	1	6	41	172	292	1316
Mansa		233	218	198	50	6	0	0	0	2	29	137	240	1113
Absolute maximum and minimum rainfall mm														
Misamfu	max	449	368	402	220	203	0	5	1	16	44	270	399	
	min	151	113	18	0	0	0	0	0	0	0	69	108	
Mutande	max	411	405	395	179	96	1	0	4	55	144	353	491	
	min	184	94	93	0	0	0	0	0	0	2	72	138	
Mansa	max	377	416	358	154	48	4	2	7	24	150	282	514	
	min	106	103	61	0	0	0	0	0	0	0	18	101	
Mean air temperature °C														
Misamfu		20.1	20.2	20.3	20.0	18.0	16.4	15.8	18.3	21.4	22.4	21.4	20.5	19.6
Mutande*		19.9	20.1	20.1	19.0	16.5	14.8	14.8	17.4	19.8	21.8	20.4	19.7	18.7
Mansa		20.5	20.7	20.6	20.3	18.0	16.8	16.6	18.5	21.4	23.4	21.5	20.3	19.9
Mean maximum and minimum air temperature °C														
Misamfu**	max	26.0	26.1	26.1	26.3	25.6	24.6	24.7	26.8	29.4	31.1	28.7	26.5	26.9
	min	16.2	16.3	16.2	15.3	12.6	10.0	9.6	11.1	13.8	16.1	16.5	16.3	15.8
Mutande*	max	26.3	26.3	26.5	26.8	26.1	24.7	25.2	27.4	30.1	30.6	27.6	26.1	27.0
	min	16.3	16.3	15.9	13.0	7.7	5.0	4.6	6.9	10.0	13.2	15.8	16.1	11.7
Mansa	max	26.5	26.5	26.7	27.2	26.0	25.3	25.0	26.8	29.5	30.9	28.1	26.1	27.0
	min	16.8	16.4	16.4	15.0	11.0	8.9	8.8	10.9	15.5	16.6	17.1	16.7	14.1
Mean soil temperature at 50 cm depth °C														
Misamfu		24.3	24.3	24.0	24.5	24.0	22.7	21.9	24.0	25.7	27.9	27.6	24.5	24.5
Mutande*		22.5	22.8	22.7	22.2	21.1	19.1	18.8	18.9	22.1	23.3	23.1	23.0	21.6
Mansa		23.2	23.6	23.4	23.4	22.9	20.6	19.7	21.2	23.8	25.7	24.9	23.7	23.0
Evaporation mm														
Misamfu**		123	109	128	148	158	154	158	210	243	270	169	187	2057
Mutande*		129	122	147	174	172	128	150	206	218	204	146	121	1917
Mansa								no data						
Hours sunshine														
Misamfu**		4.2	4.3	5.5	7.8	9.2	9.6	10.0	9.8	9.5	8.6	7.0	5.7	
Mutande*		4.4	4.6	5.2	8.0	9.5	9.3	9.0	9.5	8.4	5.3	4.1	4.5	
Mansa								no data						

* Data from Solwezi ** Data from Kasama

The soils classify as fine-loamy, siliceous, isohyperthermic Oxic or Oxic Rhodic Paleustults, or as fine-loamy, siliceous, isohyperthermic Typic or Ultic Haplustox, pending conformation of the argillic horizon (Soil Survey Staff, 1975).

The Misamfu Series are thought to be very extensive (more than 2 million ha.) in Northern, Luapula, Copperbelt and Northwestern Provinces.

The main constraints of these soils are their low pH, their very high Al-saturation levels (70-85%) and their low inherent fertility level. In this respect, the red members are slightly better, and when sufficient data are available, they may have to become a separate soil series. Physically these soils are favourable. They are not prone to soil erosion and structure decline like the Mufulira Series.

The Mufulira Series comprises well-drained, strong brown to yellowish red (5-7.5 YR), deep clayey soils with sandy loam to sandy clay loam topsoils. They have a low base saturation and are dominated by low activity clays. Their silt content is low and the relative clay increase is 70% or more. Analytical data for a Mufulira sandy clay loam are presented in the appendix.

The soils classify as clayey, mixed (or kaolinitic), isohyperthermic Oxic Paleustults.

Misamfu Regional Research Station is designated as the main research station for the northern part of Zambia. Consequently, one may expect improvement of the logistic support and infrastructure, and concentration of professional and technical staff. At present it lacks laboratory facilities.

Current research at Misamfu is carried out mainly by the Soil Productivity Research Team, who are working on the effects of wood burning (chitemene) versus fertilizers on the soil fertility, various crop rotation trials, and soil fertility studies with organic manures. Misamfu is also one of the stations which carries out the National Maize Trials, looking into the effects of long-term maize monoculture.

Mutande Regional Research Station

This new station is located about 35 km southwest of Solwezi in Northwestern Province, at the junction of the roads to Mwinilunga and Kasempa. The altitude is about 1300 m a.s.l. and it covers an area of about 515 ha.

Agroclimatologically it falls in zone 3/4, with a growing season at 70% probability of 160-180 days and, like Misamfu, restricted radiation and temperatures (Table 2). Besides, in June and July there is a chance of night frost. The vegetation type is the

Brachystegia woodland ("miombo"). Trees are moderately well to well developed and tree density is medium. The station is underlain by the Solwezi biotite-quartzite formation of the lower Kundulungu Series, igneous rocks, quartzite-sericite-carbonate rocks, feldspathic quartizites, chlorite schists, and phyllites.

The station was soil surveyed in 1983 (Mbita, 1985) at a scale of 1:10.000. The soils are dominantly red and yellow Oxisols, associated with Ultisols (22%), Inceptisols (35) and Entisols (2%). One of the soils, locally known as the Meheba Series, a member of the clayey, kaolinitic, iso(hyper)-thermic family of the Haplic Acrustoxs, has been chosen as a benchmark soil. It covers about 16% of the station.

The Meheba Series comprises well drained, dark red to red (10R/ 2.5 YR 3-4/6-8), very deep, clayey soils with a clayey topsoil and a gradual increase in clay content. Their characteristic feature is the very low effective CEC of less than 1 cmol (p+)/kg clay. Base saturation is usually less than 20% and pH ($CaCl_2$) is between 4.1 and 4.5, although occasionally it can go up to 5.0. Analytical data for a Meheba clay are presented in the appendix.

The soil classifies as a clayey, kaolinitic, iso(hyper)thermic Haplic Acrustox, Haplic because of the net negative charge throughout the oxic horizon. The soil temperature regime borders the isothermic soil temperature regime around Solwezi, which is why "hyper" is placed between brackets.

The Meheba Series are thought to be extensive (between 1 and 2 million ha.), and occur dominantly in Northwestern Province.

The main constraint in this soil is the very low activity of the clay, resulting in a very low nutrient retention capacity, which poses problems to fertilization. Physically these soils have a favourable structure.

The Mutande Regional Research Station is a new station that will replace the one at Mwinilunga, which is not very representative for Northwestern Province. Consequently no facilities are available yet. Presumably the station will be developed in the next few years. Already, during this planting season, the first trials have been started.

Luapula Regional Research Station

As discussed earlier one of the benchmark soils at Misamfu Regional Research Station, the Mufulira Series, covers only 5% of the area. Mufulira soils, on the other hand, cover about 55% of the Luapula Regional Research Station. Consequently, this benchmark site may have to be shifted to this station in the future.

The station was soil surveyed in 1967 (Yager *et al.*, 1968). The soils are dominantly Mufulira sandy loams and loamy sands, members of the clayey, mixed, isohyperthermic family of the Oxic Paleustults, associated with red clayey Typic Haplustoxs, Ochraquoxs and shallow Quartzipsamments.

At present, several teams are carrying out agronomic research. These are the Adaptive Research Planning Team (ARPT), the Integrated Rural Development Programme team (IRDP) and the Root and Tuber Research Team (RTRT). The Department of Agriculture has stationed a Crop Husbandry Officer and a Farm Management Officer, as well as a Provincial Soil Survey Unit in offices in town.

Experiments envisaged for the Luapula Regional Research Station are:

1. lime (Mutande lime)
2. farming systems
3. soil fertility monitoring
4. trace element deficiences
5. Al and Mn toxicites
6. soil degredation studies (structure decline, infiltration rate changes)

CONCLUSION

Acid tropical soils mainly occur in the northern and northwestern parts of Zambia, the so-called high rainfall zone with a precipitation exceeding 1000 mm per year. The constraints associated with the acid soils in Zambia are the low pH's, very high Al - and sometimes also Mn - saturation, low nutrient retention capacities and, in some soils, physical problems such as high erodibility, structure decline, and crusting.

At several sites in northern and northwestern Zambia benchmark soils have been identified, and research should be concentrated. on these soils. It is proposed that the sites at Misamfu Regional Research Station in Northern Province should be in corporated in to IBSRAM's Acid Tropical Soils Management Network. Possibly it should be extended to the Luapula Regional Research Station to cover two of the major acid soils in northern Zambia.

Initially the site of the proposed Mutande Regional Research Station in Northwestern Province could be included in IBSRAM's Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture Network, since it is only in the very early stages of being established. Simultaneously, or perhaps later, it could be incorporated in the Acid Tropical Soils Management Network, thus forming a continuum.

REFERENCES

MBITA, V. 1985. Detailed soil survey of the Mutande Regional Research Station, Northwestern Province. Soil Survey Report, no. 121. Department of Agriculture. (in preparation).

McPHILLIPS, J.K. 1965. Soil Testing - an Aid to the Farmer. Zambia Information Services, Lusaka. May 1965, pp.21-23.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agriculture Handbook, no. 436. SCS-US Department of Agriculture. 754p.

VAN SLEEN, L.A. 1976. Detailed soil survey of the Misamfu Regional Research Station, Northern Province. Soil Survey Report no. 41. Department of Agriculture. 121p. + 2 maps.

VELDKAMP, W.J., MUCHINDA, M. and DELMOTTE, A.P. 1984. Agro-climatic zones in Zambia. Soil Bulletin, no. 9. Department of Agriculture. 19p. + 8 maps.

YAGER, T.U., LEE, C.A. and PERFECT, G.A. 1968. Detailed soil survey Luapula Regional Research Station, Mansa, Zambia. Soil Survey Report, no. 3. Ministry of Agriculture. 22p. + 2 maps.

CHOIX DES SITES D'EXPERIMENTATION AU CAMEROUN: CAS DU SITE DE MINKOAMEYOS

J. BINDZI-TSALA, L.R. AMBASSA-KIKI
A. ONGUENE MALA
Centre National des Sols, BP 5578 Yaounde, CAMEROUN

P. BILONG
Faculté des Sciences, Université de Yaounde, CAMEROUN

RESUME

Les critères du choix d'un site expérimental pour des essais agronomiques au Cameroun sont passés en revue. L'application de tels critères connaît deux grandes périodes : la période coloniale (1945-1960) et la période qui a suivi l'indépendance (1960-1985). Elle s'est faite sur les cultures d'exportation et les cultures vivrières. On peut retenir comme critères de choix du site expérimental pendant la période coloniale : la représentativité des terres ou des zones de cultures, l'existence d'une structure d'appui, et les conditions agro-climatiques.

La période qui a suivi l'indépendance se subdivise en deux phases : 1960-1976 et 1976-1985. Dans la première phase, les critères sont géopédologiques dans le cadre d'un réseau d'essais pour la culture cacaoyère, la culture caféière et la théiculture. En ce qui concerne les cultures vivrières, les conditions agro-écologiques relatives au climat, à l'altitude, et à la nature des sols prévalent. La seconde phase tient compte de ces mêmes critères, mais insiste sur la zonation agroécologique.

Le site expérimental retenu à Minkoameyos obéit à la fois aux critères de structures d'appui et de conditions agro-écologiques, ainsi qu'aux critères de zones homogènes pour des essais spécifiques. Trois domaines sur le plan morphologique y sont reconnus le long de la toposéquence WSW-ENE, à savoir : un domaine à butte, un domaine rouge sans butte, et un domaine brun-vif sans butte.

ABSTRACT

SELECTION OF AGRONOMIC EXPERIMENTAL SITES:

CASE STUDY AT MINKOAMEYOS

The criteria for selecting an experimental site for agronomic experiments in Cameroon are reviewed. There were two major periods when these criteria were in operation - namely the colonial period (1945-1960), and the post-independence period (1960-1985). The criteria were applied both to the cultivation of exported produce and of basic foodstuffs. The notable criteria for site selection during the colonial period were the representativeness of the land or cultivated areas, the presence of a support structure, and the agroclimatic conditions.

The post-independence period can be subdivided into two phases - 1960-1976 and 1976-1985. In the first phase, geopedological criteria were applied within the framework of a batch of experiments concerned with cocoa, coffee, and tea growing. As regards the cultivation of basic foodstuffs, attention was mainly directed toward agroecological conditions relating to climate, altitude and soil properties. During the second phase, these same criteria were taken into account, but special emphasis was given to selecting areas in accordance with agroecological factors.

The experimental site selected at Minkoameyos met the requirements with regard to structure and agro-ecological factors, and also met the criteria for homogeneity in the area to allow specific tests to be made. Three types of morphological terrain were observed across the WSW-ENE topography : terrain with mounds, red terrain without mounds, and strong brown terrain without mounds.

INTRODUCTION

Au Cameroun, en quarante ans (1945-1985), l'expérimentation agricole a connu deux grandes périodes : la période coloniale (de 1945 à 1960), et la période postérieure à l'indépendance (de 1960 à 1985).

Si la période coloniale a été consacrée aux seules cultures d'exportation (cacao, café, thé, coton, caoutchouc), en revanche, après l'indépendance, la production agricole s'est orientée vers les cultures vivrières, sans toutefois négliger les cultures de commercialisation.

Menée par la Direction de l'Agriculture pour le compte du Ministère de l'Agriculture, l'expérimentation agricole a aussi été le fait d'organismes et d'instituts étrangers oeuvrant pour le compte du Ministère du Plan et de l'Aménagement du Territoire.

Cette note retrace l'histoire des essais agronomiques au Cameroun sur le plan sélection des sites. Elle permet de définir ainsi les règles de l'évolution des critères de choix des sites expérimentaux et de trouver des termes de comparaison avec d'autres pays. Le cas de Minkoameyos est détaillé afin d'illustrer les critères actuels de caractérisation d'un site.

LES CRITERES DE CHOIX DU SITE EXPERIMENTAL PENDANT LA PERIODE COLONIALE

De 1945 à 1960 l'expérimentation agricole au Cameroun a été la préoccupation principale de la Direction de l'Agriculture et l'oeuvre des instituts spécialisés, notamment l'Institut des Fruits et Agrumes Coloniaux (IFAC), l'Institut de Recherches pour le Coton et les Textiles Tropicaux (IRCT) en collaboration avec la Compagnie Française pour le Développement des Textiles (CFDT), et l'Institut de Recherches pour les Huiles et les Oléagineux (IRHO).

Cette phase a vu l'apôgée des cultures de rente, avec comme critères de choix des points d'essai au niveau local:

1. la représentativité des terres ou zones de culture;
2. l'existence d'une structure d'appui;
3. les conditions agroclimatiques.

C'est ainsi que, pour la cacaoculture, la Direction de l'Agriculture avait placé les sites d'expérimentation à Nkoemvone, zone du plateau central Camerounais, de fertilité moyenne, mais très représentative des terres à cacaoyer. On citera également Nkolbisson, dont les conditions climatiques sont distinctes de celles de Nkoemvone. De même sera mentionné Barombi-Kang, zone représentative des terres à cacaoyer de bonne fertilité au Cameroun occidental.

En ce qui concerne le coton, les sites d'expérimentation ont été implantés par la CFDT au Nord-Cameroun en collaboration avec l'IRCT. Les points d'essai principaux étaient Guétalé, recevant 834 mm de pluie, et Maroua, recevant 700 à 800 mm de pluie.

Pour le palmier à huile, l'IRHO avait fixé ses essais de sélection variétale dans les plantations domainales de Dibombari.

Quant aux cultures fruitières, en 1948 l'IFAC avait implanté les essais agronomiques de banane et d'ananas à Nyombé, zone à pluviométrie élevée, sans saison sèche marquée, favorable à la culture bananière.

LES CRITERES DE CHOIX DU SITE EXPERIMENTAL APRES L'INDEPENDANCE

La période postérieure à l'indépendance peut être divisée en deux phases. 1960-1976 correspond à une periode d'intensification

de la recherche sur les cultures d'exportation et au début des essais sur les cultures vivrières.

Les critères de choix des sites d'expérimentation de type géopédologique ont été définis pour les cultures stimulantes par l'Institut Français du Cacao et du Café (IFCC), à qui le Gouvernement Camerounais avait confié les travaux de recherche agronomique sur ces plantes au niveau national.

Les critères de choix du site expérimental pour les cultures vivrières au cours de cette phase ont été l'oeuvre de l'Institut de Recherches Agronomiques et Tropicales (IRAT) qui s'est installé au Cameroun en 1964. Le climat, l'altitude et la nature des sols, et aussi des programmes de recherches, ont servis de guides principaux dans cette recherche. Plusieurs sites expérimentaux ont été reconduits dans les structures de recherches existantes, et de nouveaux points d'essais ont été ouverts en fonction de leurs conditions agroécologiques pour constituer le réseau multilocal d'essais.

1976-1985 correspond à la période de la nationalisation de la recherche au Cameroun, avec la création de l'Office National de Recherche Scientifique et Technique (ONAREST) le 6 juin 1974, qui devient la Délégation Générale de la Recherche Scientifique et Technique (DGRST) en 1979. En 1984, la DGRST fusionnera avec l'Enseignement Supérieur pour constituer le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Si, pendant cette phase, la plupart des points d'essais hérités des instituts spécialisés (IFCC, IFAC, IRAT, IRCT) continuent à fonctionner normalement, il faut cependant noter la création de nouveaux sites d'expérimentation au sein, en particulier, des sociétés et projets de développement des différentes zones agroécologiques du Cameroun.

CAS PARTICULIER DU SITE EXPERIMENTAL DE MINKOAMEYOS

Le site de Minkoameyos a été selectioné en vue d'y conduire des essais de cultures annuelles sur sols tropicaux acides. Il est situé dans le département de Mfoundi, province du centre, à trois kilomètres de la station agronomique de Nkolbisson. Le climat y est subéquatorial, et les sols, ferrallitiques fortement désaturés typiques modaux sur embréchite (Vallérie, 1973). Une toposéquence WSW-ENE (figure 1) permet de comprendre l'organisation générale de la couverture pédologique. Trois domaines s'y distinguent : un domaine à butte, à l'amont, un domaine rouge sans butte en position intermédiaire, et un domaine brun vif sans butte à l'aval. Sur cette toposéquence, deux points d'essais relativement homogènes ont été retenus : l'un dans le faciès brun vif sans butte (site A), l'autre dans le domaine rouge sans butte (site B).

Horizon brun-foncé Argilo-sableux

Horizon Brun-jaunâtre argileux à argileux-sableux

Horizon brun-vif ; Argileux avec les taches jaunes peu nombreuses

Horizon brun-vif ; argileux avec nombreuses taches jaunes et brun-rougeâtre

Horizon brun rougeâtre argilo-sableux

Horizon rouge-jaunâtre argileux à argilo-sableux

Horizon rouge argileux avec quelques taches jaunes

Horizon rouge argileux avec nombreuses taches jaunes et rares noyaux argileux

Horizon brun-rougeâtre argileux à argileux-sableux

Horizon rouge-brunâtre argileux

Horizon nodulaire

Mélange de l'horizon d'altération et l'horizon minéral meuble

Horizon rouge argilo-limoneux

Horizon brun foncé argilo-sableux

Horizon brun-jaunâtre argilo-sableux riche en element grossier

Roche-mère

Horizon brun-jaunâtre foncé argilo-sableux

Horizon rouge-jaunâtre argilo-limoneux avec nombreuses taches d'altération.

Domaine à butte

Le domaine à butte est constitué par une alternance de sols ferrallitiques rajeunis et typiques modaux sur des pentes de 9 à 15%. Il est caractérisé par des sols de profondeur très variable (35-200 cm) et par des couleurs diverses qui correspondent à celles des planches 10 YR à 2,5 YR du code Munsell. La texture des horizons superficiels est généralement argilo-sableuse. Elle est argileuse à argilo-sableuse à moyenne profondeur et argilo-limoneuse en profondeur dans les horizons d'altération. La granulométrie effectuée sur les sols montre un net appauvrissement en argile dans les horizons superficiels (indice d'appauvrissement compris entre 1/1,8 et 1/4), ainsi qu'une forte richesse en limon ($0,5 < A/L < 6,0$) et en sables grossiers ($0,2 < SF/SG < 1$). Les éléments grossiers comprennent :

1. des graviers quartzeux, peu abondants dans les horizons d'altération;
2. des fragments d'embréchite peu ou pas altéré, de tailles diverses dans les horizons d'altération et de moyenne profondeur.

La structure des sols dans l'ensemble est peu affirmée, polyédrique subanguleuse moyenne à grossière peu nette.

Domaine rouge sans butte

Le domaine rouge sans butte s'étend en aval du précédent sur des pentes de 6 à 7%. Il est constitué de sols ferrallitiques typiques modaux, de couleur rouge (5 YR à 2,5 YR au code Munsell), présentant en profondeur des taches brun-jaunâtres et noires dans la partie aval. La texture du sol est argilo-sableuse dans les horizons humifères et argileuse en profondeur. Des nodules argileux faiblement indurés, de taille diverse, peuvent être mis en évidence en profondeur. Les analyses granulométriques montrent un appauvrissement en argile des horizons superficiels (indice d'appauvrissement compris en 1/1,5 et 1/2) et des teneurs élevées en sables grossiers ($0,7 < SF/SG < 0,9$). La structure est peu nette, polyédrique moyenne à grossière. Les analyses chimiques indiquent une forte acidité ($4,7 < pH < 5$), une forte désaturation en bases échangeables ($0,7 < S/T < 1,5$) et une carence en azote (1,4 N total - P_2O_5 Total 2).

Domaine brun vif sans butte

Le domaine brun vif sans butte s'étend dans la partie aval de la séquence. Il est constitué de sols beaucoup plus jaunes que les précédents (10 YR à 7,5 YR au code Munsell), presentant des taches brun-jaunâtres et rouge-jaunâtres en profondeur. Ces sols sont argileux dans l'ensemble de leur profil (indice d'appauvrissement égal à 1/1,25) et pauvres en sables grossiers ($1,01 < SF/SG < 1,16$).

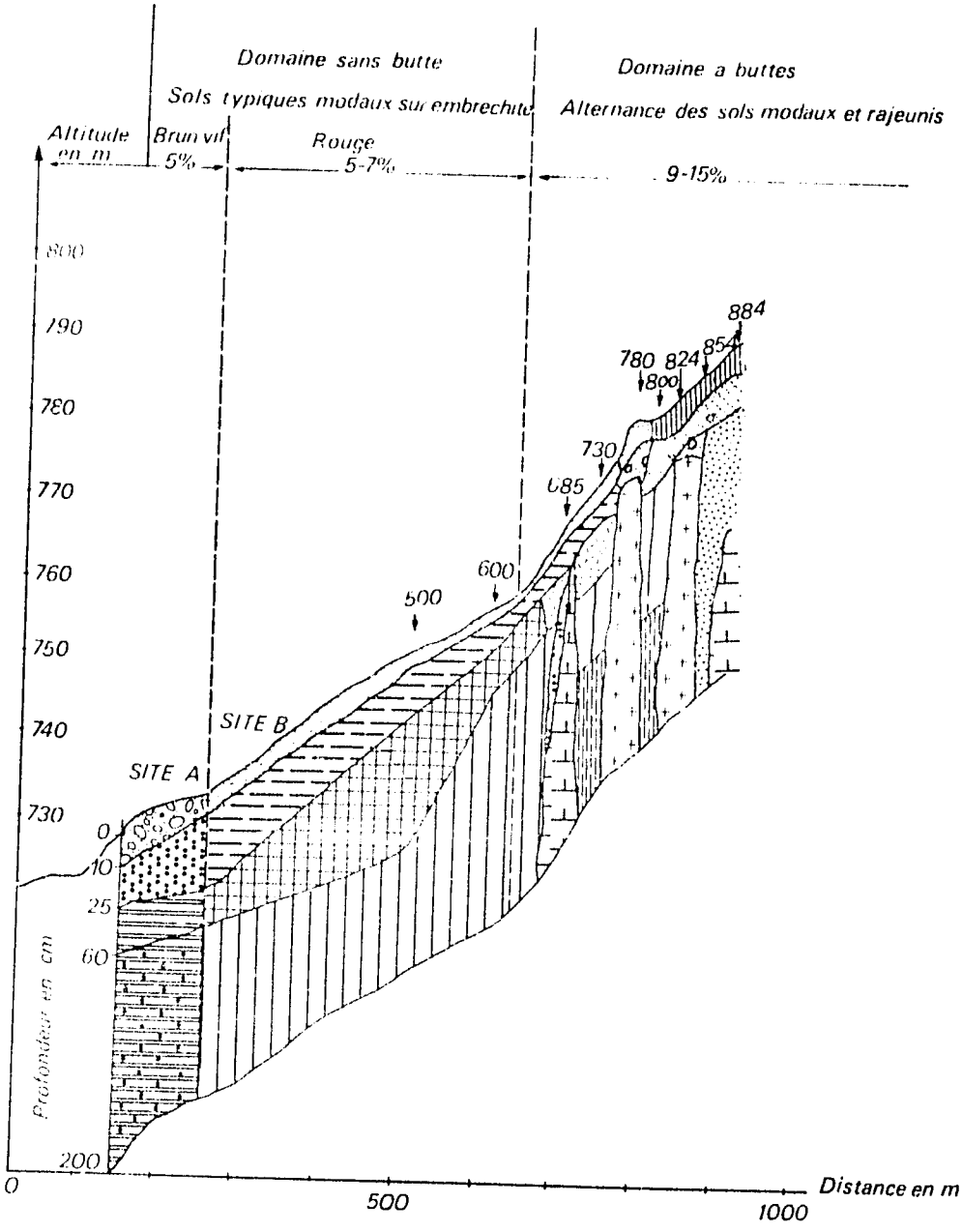


Figure 1 TOPOSEQUENCE W.S.W–E.N.E DU DOMAINE IRA DE MINKOAMEYOS

Differenciation verticale et latérale

L'analyse de la couverture pédologique montre que, dans le domaine à butte, les caractéristiques morphologiques dépendent des propriétés lithologiques et de la pente. Dans les domaines rouges et brun vif sans butte, les propriétés morphologiques et physico-chimiques sont liées à la pente. Les eaux de ruissellement semblent pratiquer un tri granulométrique, entraînant les éléments fins des sols rouges vers les sols brun vif. Ceci est illustré par la figure 2, sur laquelle on constate une concentration de l'argile vers l'aval. D'une manière générale, les domaines sans butte laissent apparaître des zones relativement homogènes sans taches ni éléments grossiers dans les 60 premiers centimètres qui surmontent des horizons profonds plus hétérogènes. Ils semblent convenir à des cultures annuelles dont les systèmes racinaires occupent la partie superficielle du sol. Les essais agronomiques sont, en revanche, pratiquement impossibles dans la zone à butte, du fait de la très grande hétérogénéité latérale et verticale des sols.

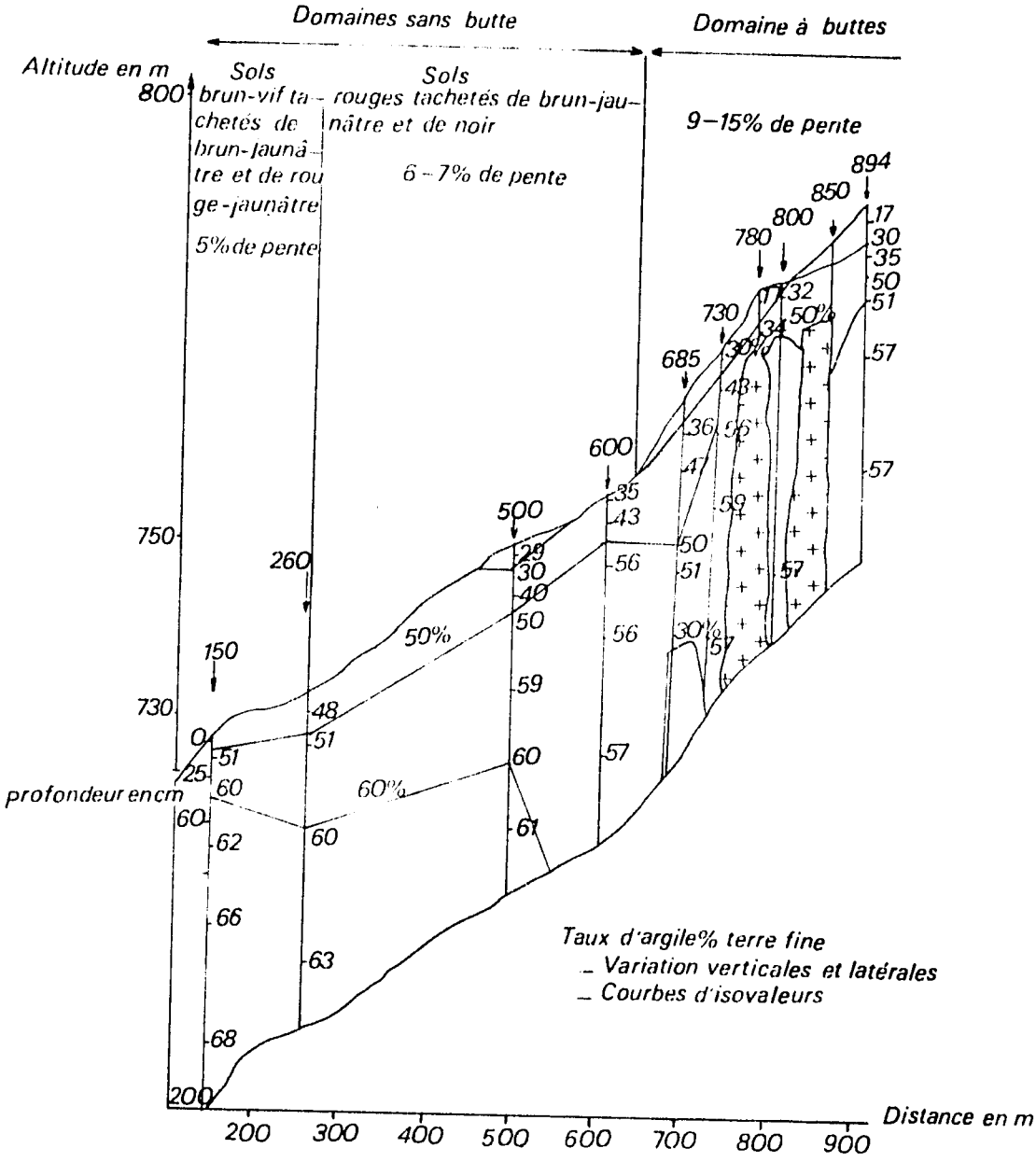


Figure. 2 : DIFFERENCIATION TEXTURALE LE LONG DE LA SEQUENCE

CONCLUSION

Le choix de sites agronomiques au Cameroun est passé par plusieurs stades en fonction des types de culture envisagés et de la connaissance du milieu. Dans un premier temps, elle a été guidée par la representativité générale des terres ou des zones de culture ainsi que par les zones agroclimatiques et par l'existence de structures d'appui. Par la suite, les critères de choix se sont affinés, prenant plus en compte les exigences des cultures et les conditions pédologiques. Le choix du site de Minkoameyos a suivi cette voie, en accentuant encore l'effort porté sur la caractérisation pédologique:

- Sol de pH inférieur à 5, afin d'intégrer le réseaux IBSRAM de mis en valeur des sols acides tropicaux.
- Sols presentant un horizon relativement homogène dans leur 60 premiers centimètres afin de pouvoir traiter statistiquement des essais de cultures annuelles à faible enracinement.

Le sol a pris ainsi une part de plus en plus importante dans le choix des sites d'expérimentation agronomique au Cameroun.

BIBLIOGRAPHIE

BINDZI-TSALA, J. 1967. Essai de détermination des zones homoclimatiques et de strates homogènes dans le centre-sud et l'est de l'état du Cameroun oriental. IRAT, Yaounde, Cameroun. 73p.

BIRE-HABAS, J. 1974. Expérimentation sur la culture du blé dans les hauteurs de l'Adamaoua. Résultats de la campagne 1974 sur le point d'essai de Wassande. IRAT, Yaounde, Cameroun.

DURY, CHARLES. 1965. Essai de groupement en zones homogènes des régions naturelles du nord Cameroun. IRAT, Yaounde, Cameroun. 47p.

BARBOTEN, GERARD. 1962. Etude des Structures Rurales; Analyses et Diagnostics. Direction de l'Agriculture, Yaounde, Cameroun.

VALET, S. 1967. Principe d'organisation des régions naturelles en strates homogènes et son application à l'ouest Cameroun. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux Tananarive, 1967.

VALERIE, M. 1973. Contribution à l'étude des sols du centre-sud Cameroun, ORSTOM, Paris.

PART II: SITE CHARACTERIZATION

RELATIONS ENTRE LA POROSITE ET LE PEDOCLIMAT DANS DES SOLS DU DOMAINE FERRALLITIQUE AU CAMEROUN

F.X. HUMBEL

ORSTOM, 74 route d'Aulnay 93140 Bondy, FRANCE

RESUME

Du sud au nord (Adamaoua), le contraste saisonnier du bioclimat s'accentue - celui du pédoclimat aussi. La porosité se modifie également. Toutefois, dans des conditions bioclimatiques données les profils de porosité totale des sols dérivés de diverses roches mères coincident, du moins si on exprime la porosité par rapport au volume total diminué du volume occupé par le squelette: le degré d'assemblage exprimé par cette porosité "hors squelette" pourrait donc être déterminé par le niveau des contraintes pédoclimatiques subies.

Ces sols sont épais. De bas en haut la macroporosité (fraction toujours en air) se développe progressivement dans une matrice de plus en plus stable. L'assemblage devient extrêmement poreux et assure un drainage vertical libre et profond. Epaisseur et grande macroporosité paraissent être caractéristiques de ces régions à faible érosion superficielle et à pédoclimat modérément contrasté (variation hydrique n'atteignant pas le pF 4.2).

Une accentuation du contraste pédoclimatique entraîne une déstabilisation des horizons ferrallitiques poreux. C'est ainsi qu'il se forme dans l'Adamaoua un horizon superficiel compact dont on peut relier la formation à une variation hydrique annuelle allant de l'ultra-dessiccation à la sursaturation. De même en Guyane, c'est un amincissement des horizons poreux, par intensification de l'érosion, qui pourrait expliquer l'installation d'un drainage superficiel et latéral par ralentissement du drainage vertical

(amortissement insuffisant des ondes pluviales).

La mise en culture peut accentuer aussi le contraste pédoclimatique, notamment en milieu forestier.

ABSTRACT

RELATIONS BETWEEN POROSITY AND PEDOCLIMATE

IN SOILS WITH A FERRALLITIC ENVIRONMENT IN THE CAMEROON

Going from the south to the north (in Adamaoua), the seasonal contrast of the bioclimate becomes more pronounced, as does the contrast in the pedoclimate, and the porosity undergoes corresponding modifications. Nevertheless, in the existing bioclimatical conditions, the overall porosity profiles of soils originating from a variety of seashore rocks are the same - at least if the porosity is considered in relation to the total volume minus the volume taken up by the skeleton: hence the amount of assembly shown by this "extra-skeletal" porosity could be determined by the intensity of the pedoclimatic constraints which have been sustained.

These are thick soils. From top to bottom their macroporosity (in the part which remains exposed to the air) develops slowly into an increasingly stable matrix. The assembly becomes extremely porous and provides free and deep vertical drainage. Thickness and a high degree of macroporosity seem to be typical of ferrallitic soils in regions where there is little erosion of the surface and a pedoclimate exhibiting only moderate contrasts (with a water variation lower than pF 4.2).

When the pedoclimate is more extreme, there is more uncertainty with regard to the porous ferrallitic horizons. For this reason, Adamaoua has a compact superficial horizon which forms as a result of an annual water variation ranging from ultra-dry to over-saturated levels. Similarly in Guiana, the porous horizons are more limited as a result of intensive erosion, which may explain the establishment of superficial lateral drainage at the expense of slowing down the vertical drainage (because of an insufficient reduction of rainwater flow).

Cultivation of the land may also serve to intensify the pedoclimatic contrasts, especially in forest areas.

INTRODUCTION

Par pédoclimat on entend l'ensemble des conditions hydriques et thermiques régnant dans le sol. En conditions de bon drainage, le pédoclimat est modulé principalement par les variations saisonnières du bioclimat.

L'information apportée ici est basée sur:

1. des mesures périodiques de teneur en eau du sol faites de 1969 à 1972 en des sites (toposéquences) échelonnés sur près de 5° de latitude en domaine ferrallitique au Cameroun (depuis Ebolowa au sud jusqu'à Ngaoundéré au nord sur le plateau de l'Adamaoua - voir figure 1);

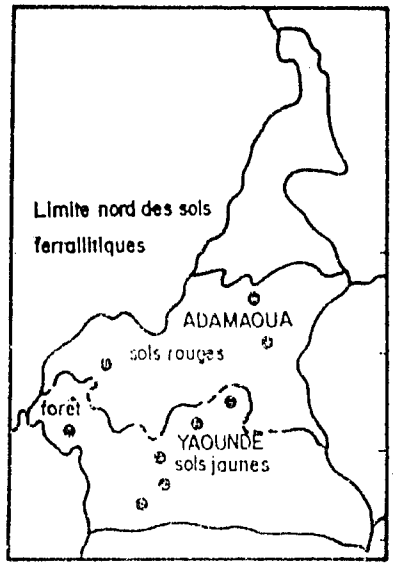


Figure 1. Les sites d'étude en domaine ferrallitique

2. des déterminations de paramètres qui renseignent sur le contenant de cette eau et sur les forces exercées par la phase solide: teneur en eau au pF 4.2, densités apparente et réelle pour calculer la porosité totale, etc.

3. des observations et des mensurations de pores vues aux microscopes optique et à balayage sur des échantillons préalablement séchés.

Les sols caractérisés comportent, sur plusieurs mètres d'épaisseur, des horizons meubles et poreux, vivement colorés en jaune ou en rouge. Ils se rattachent à la classe des sols ferrallitiques. On n'y observe pas de ralentissement du drainage, et la tranche saturée y est profonde d'une dizaine de mètres (sols à bon drainage interne). L'enracinement, sous végétation naturelle, décroît normalement de haut en bas, mais il reste notable et bien réparti en profondeur.

On comparera ici deux sites de sommet de versant convexe, donc en position de bon drainage externe.

1. au nord (plateau de l'Adamaoua), sol rouge sous savane arbustive, avec 1600 mm d'apport pluvial annuel. Les pluies sont rassemblées en une saison humide unique et à averses quotidiennes. La saison sèche, longue de 5 mois se caractérise

par une absence totale de précipitations (figure 2). L'écart saisonnier de température est de 6°5.

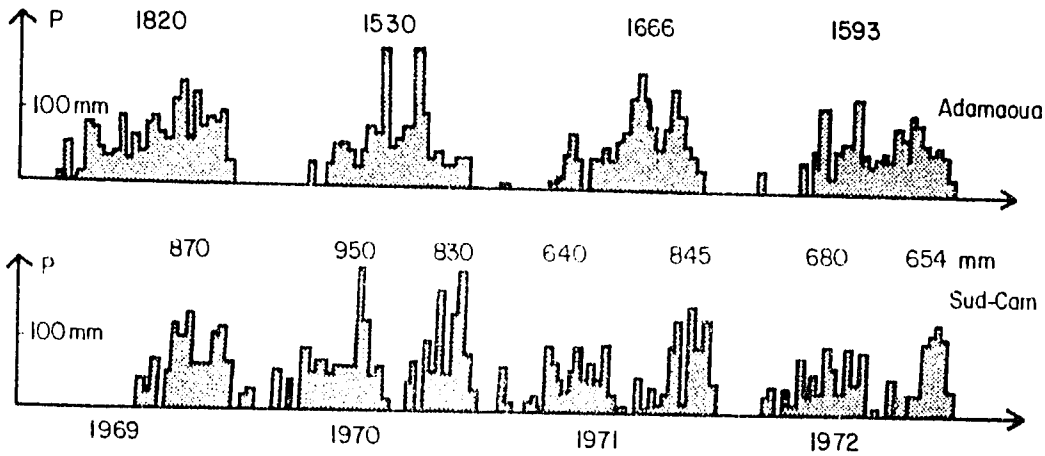


Figure 2. Distribution décadaire des pluies au cours des années de mesure

2. au sud, sol jaune sous forêt, avec un apport pluvial également de 1600 mm, mais qui est distribué en deux saisons humides séparées par deux saisons plus sèches. De plus il y a des périodes sèches en saison des pluies et des périodes pluvieuses en saison sèche, comme le montre la distribution décadaire des précipitations. L'écart saisonnier de température n'est que 4°5.

Ainsi, dans la relation $\psi(\theta)$, marquée d'hystérèse (figure 3), le pédoclimat doit parcourir, chaque année, dans l'Adamaoua un cycle unique et régulier, tandis qu'au sud il y a deux cycles marqués de nombreuses irrégularités (les petites boucles des deux branches de la courbe - figure 4).

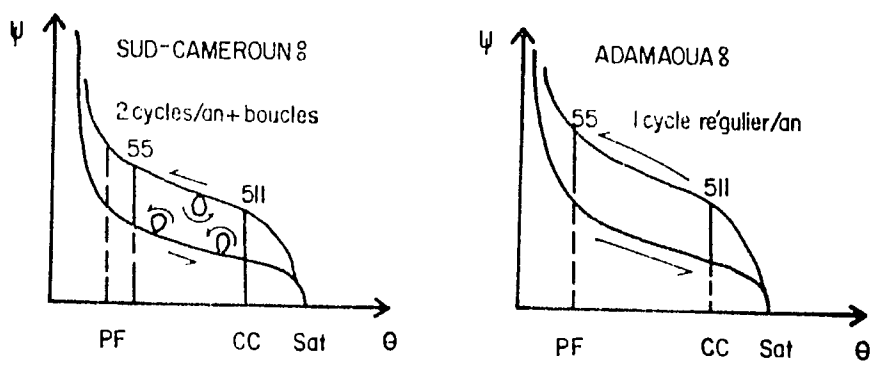


Figure 3. Schéma des variations saisonnières des contraintes (potentiel de l'eau U) en fonction des variations de teneur en eau (θ)

DISTRIBUTION VERTICALE DE L'EAU DANS LES DEUX SITES

La figure 4 présente les teneurs (volumiques) en eau, en fonction de la profondeur, aux extrêmes saisonniers (saison des pluies, SH, et fin de saison sèche, SS, en précisant l'année).

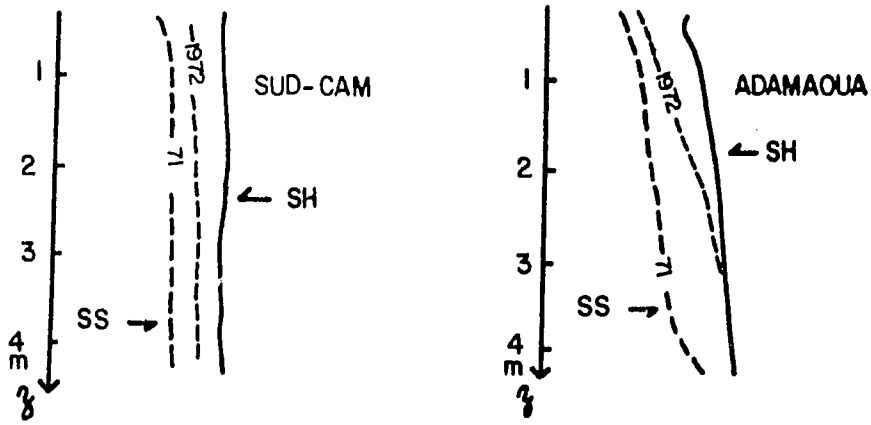


Figure 4. Profils hydriques en saison sèche (SS) et en saison des pluies (SH)

1. Au Sud-Cameroun, le profil hydrique s'établit lentement au cours de la saison des pluies sur une position stable, de même qu'au cours des saisons des pluies successives: une seule courbe suffit alors pour représenter cet état. En fin de saison sèche, au contraire, le profil s'établit à des positions qui diffèrent d'une année à l'autre. Ainsi, l'amplitude annuelle de la variation dépend non pas des variations (importantes) de l'apport pluvial d'une saison des pluies à l'autre, ou d'une année à l'autre, mais des conditions de la saison sèche (durée combinée avec intensité).

   La stabilisation du profil hydrique en période humide semble correspondre à la capacité au champ: on constate que la filtration de tout apport d'eau excédentaire (dispositif Müntz) est si rapide qu'elle n'accroît pas de façon sensible la teneur en eau du sol (amortissement très rapide de l'onde d'eau mue par gravité).

   Quant à la régularité verticale du profil hydrique (à l'exception des deux décimètres supérieurs humifères et plus sableux), elle suggère une certaine uniformité à la fois de l'organisation du sol (pores servant à la rétention) et du prélèvement d'eau par les racines (transpiration du couvert forestier).

2. Dans l'Adamaoua, on retrouve la même stabilisation du profil

hydrique pendant les saisons humides successives, ainsi que les différences inter-annuelles de fin de saison sèche. Mais il y a décroissance de bas en haut de la teneur en eau, ce qui suggère soit un accroissement de la macroporosité vers le haut (ce qui réduit la rétention en expression volumique), soit un prélèvement de saison sèche s'effectuant principalement par évaporation à partir de la surface (sol nu entre touffes d'herbe flétrie).

COMPOSITION VOLUMIQUE DU SOL AUX DEUX EXTREMES SAISONNIERS

Connaître les variations de teneur en eau n'a d'intérêt que si l'on peut les rapporter à la porosité qui les contient, et les situer par rapport à des repères énergétiques dont les principaux sont, dans l'ordre croissant des humidités:

1. le pF 4.2, limite inférieure des teneurs en eau extractible par les racines, ce qui - pour un réseau de pores tubulaires - correspondrait à la vidange de tous les pores de rayon supérieur à 0,1 micron (loi de Laplace).

2. la capacité au champ, CC, teneur au-delà de laquelle l'eau n'est plus retenue par les forces capillaires ou d'adsorption, et s'écoule donc rapidement par gravité.

3. la saturation, état où des forces de pression hydrostatique se généralisent et s'opposent aux forces de gravité, autorisant des mouvements d'eau latéraux. Cette teneur en eau est un peu inférieure à la porosité totale (air occlus).

Ces trois teneurs en eau - repères des forces principales qui s'exercent sur cette eau - peuvent être exprimées en fractions de volume et figurer alors dans un diagramme indiquant la composition volumique du sol (en abscisse) en fonction de la profondeur z (en ordonnée). Le gonflement saisonnier de ces sols étant négligeable, on peut porter dans ce diagramme les teneurs (volumiques) en eau aux deux extrêmes saisonniers notés SH et SS (en pointillés). Au total les intervalles successifs de ce diagramme sont, de gauche à droite, les fractions de volume suivantes (teneurs en eau ou classes porales):

O à PF	= eau trop fortement liée, ou porosité ultrafine;
PF à SS	= eau utile disponible en saison sèche;
SS à SH	= variation saisonnière d'eau (porosité disputée entre air et eau);
SH à P	= teneur (volumique) en air en saison humide (macroporosité);
P à 100%	= fraction de volume occupée par la matière solide.

Les deux diagrammes volumiques de la figure 5 montrent que:

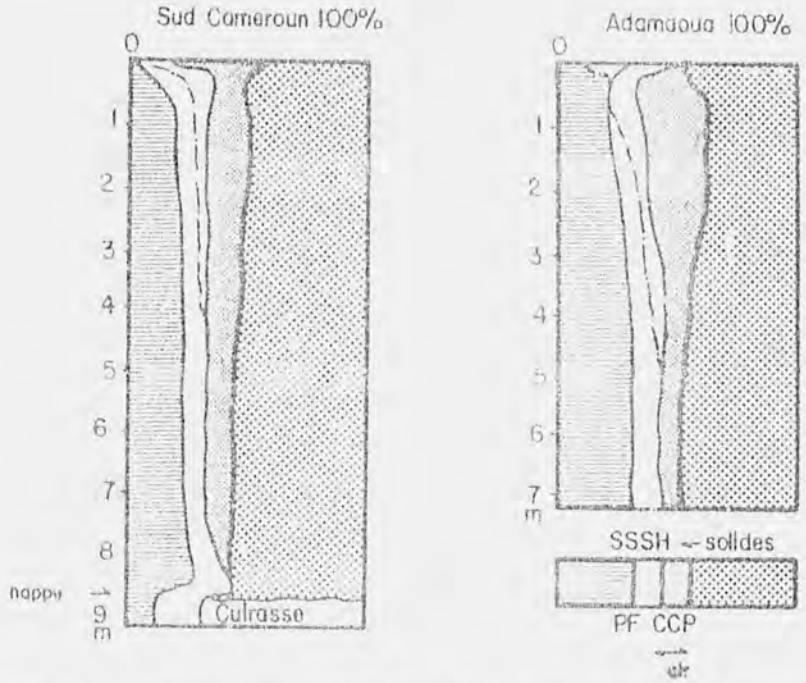


Figure 9. Composition volumique aux deux extremes saisonniers (SSS en pointillé et SHZTC, PF=pH4.2)

Le sol a [illegible] en toute saisons d'air et d'eau utile. La variation saisonnière y est [illegible] (0-4 m) quoique peu importante (200 à 100 mm en lame d'eau équivalente). Par contre, le stock d'eau retenue par le sol est considérable: 3000 à 4000 mm pour 10 m de sol (teneur volumique de 30 à 40%), soit dix fois plus que la variation saisonnière. Cette eau retenue intervient dans les échanges chaleur et transpiration.

La macroporosité (fraction toujours en air) y est importante (10-30%). Elle s'accroît de bas en haut, d'abord lentement puis très fortement dans les deux décimètres supérieurs (pédogenèse liée à l'activité biologique), d'où sa forme "en entonnoir" sur le diagramme. Les échanges avec l'atmosphère (O_2 et CO_2) sont donc aisés. Ce sol est un bon support physique.

Le développement de la porosité dans les mètres supérieurs du sol indique que l'assemblage des constituants de la phase solide y est stable dans les conditions naturelles. Effectivement les séparations plasmiques ne deviennent importantes qu'en profondeur. Les contraintes subies saisonnièrement sont modérées puisque la teneur en eau varie seulement entre une valeur supérieure à pF 4.2 et la capacité au champ. De plus, elle comporte de multiples récurrences de plus faible amplitude. A noter cependant que la variation de teneur en eau augmente considérablement là où le sol est moins bien couvert (cultures sans ombrage) ou directement ensoleillé (talus de route).

(cultures sans ombrage) ou directement ensoleillé (talus de route). Il y a alors des fissures et de nombreux argilanes dans les décimètres supérieurs.

2. le sol de l'Adamaoua présente en profondeur un assez bon équilibre air-eau, mais qui se péjore dans les deux mètres supérieurs. En effet, d'une part le dessèchement saisonnier y atteint le pF 4.2, d'autre part la macroporosité s'accroît considérablement. Un tel sol manque alors d'eau utile en saison sèche. Sa porosité totale devient elle-même excessive (jusqu'à 65% dans les sols dépourvus de squelette).

Tout en surface (entre 5 et 20 cm de profondeur) on observe un mince horizon compact où le pF 4.2 est largement franchi en saison sèche (ultra-dessiccation). En saison des pluies, la teneur (volumique) en eau y augmente, en relation avec une réduction de la macroporosité (d'où la forme en ampoule de celle-ci sur le diagramme). Ainsi, la variation saisonnière du pédoclimat y devient extrême, de l'ultra dessiccation à la sub-saturation. Dans ces conditions de contraintes, il se produit une transformation importante de l'assemblage microscopique du sol ferrallitique, qui perd alors une de ses caractéristiques essentielles : sa grande macroporosité (voir plus loin).

RELATION INVERSE ENTRE POROSITE TOTALE ET TAUX DE SQUELETTE

Dans les sols étudiés, la porosité totale présente (outre les variations verticales visibles sur la figure 5) des différences notables d'une roche-mère à l'autre, en relation avec des taux de squelette différents: les sols les plus pauvres en squelette sont les plus poreux.

Si l'on rapporte (figure 6) le volume des pores non plus au volume total (profil P) mais à celui-ci diminué du volume occupé par le squelette (profil P') on constate que les profils de porosité P' coïncident alors assez bien. Cela suggère d'abord que le développement de la porosité est quantitativement lié à la seule phase plasmique (déformable) du sol. Et ensuite qu'en des conditions édaphiques données (climat, modelé, profondeur), la porosité totale en expression hors squelette est déterminée par les conditions de pédoclimat : à un niveau énergétique donné pourrait correspondre un assemblage plasma-pores donné.

On doit s'en souvenir lorsqu'on modifie la gamme des contraintes subies par le sol par défrichement et mise en cultures.

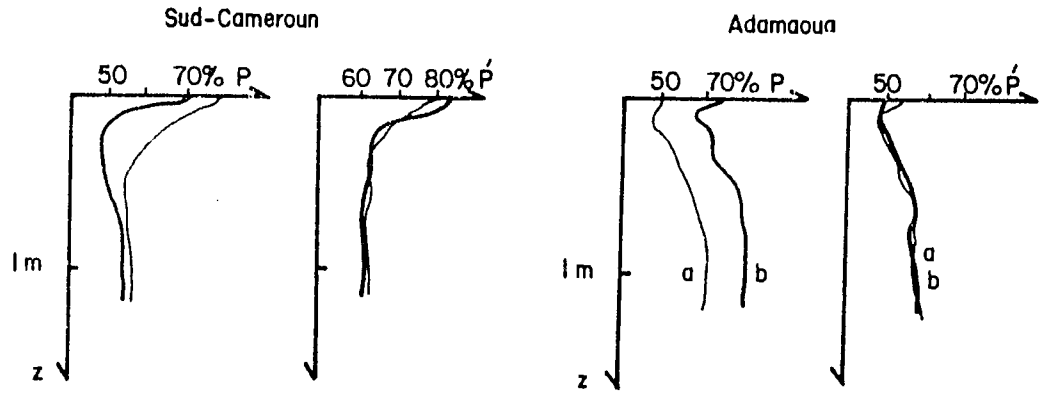


Figure 6. Les profils de porosité P, lorsqu'on les rapporte au seul plasma (profils P'), coïncident:
a = sol dérivé de granite
b = sol dérivé de basalte (peu de squelette)

VARIATIONS DU SUD-CAMEROUN VERS L'ADAMAOUA

Le mince horizon compact superficiel des sols de l'Adamaoua (figure 7) n'apparaît pas brusquement sur ce plateau, au nord du domaine ferrallitique : les mesures de porosité échelonnées du sud au nord montrent que les sols situés plus au sud peuvent présenter une tranche légèrement plus compacte qui, en allant vers le nord, s'accuse en s'amincissant et en se rapprochant de la surface.

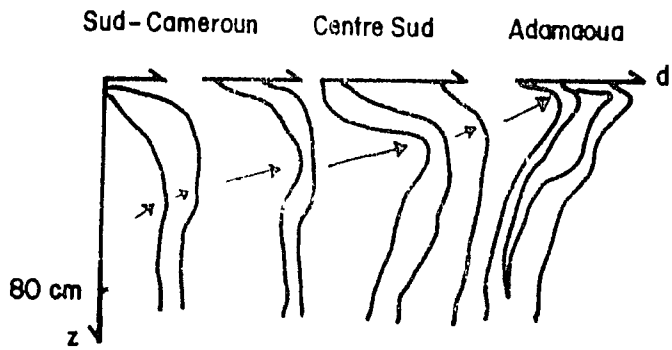


Figure 7. Développement progressif de l'horizon compact superficiel au nord du domaine ferrallitique:
d = densité apparente, z = profondeur

Cette augmentation de compacité paraît en relation avec le niveau des contraintes subies, le contraste croissant du climat atmosphérique se répercutant sur le pédoclimat. Quant aux contraintes d'origine anthropique qui s'exercent dans l'Adamaoua (par les feux et le piétinement des troupeaux), [illegible] leurs effets aux phénomènes naturels. [illegible] niveau de compacité atteint (même compacité superficielle dans une forêt résiduelle où le bétail ne pénètre pas et sur les sentiers de passage des animaux).

CONFIGURATION DES PORES

Sols rouges de l'Adamaoua

Les horizons rouges (figure 8) sont composés de cristallites élémentaires (kaolinite pectifiée) de rayon 0,1 µ et dont l'assemblage ménage des pores de dimension équivalente. Mais cette matière est organisée en bâti très aéré, limitant des pores intercommunicants de grande taille (de 1 à 100 µ). Les montants de ce bâti présentent une [illegible] et de renfrants qui orientent une fragmentation [illegible]. Le squelette quartzeux est incorporé au plasma. Ces horizons comportent aussi des îlots plus compacts. La forte augmentation de la macroporosité dans les deux mètres supérieurs est due à l'exacerbation de cette structure micropédique aérée, et surtout des tubes et cavités creusés par les termites.

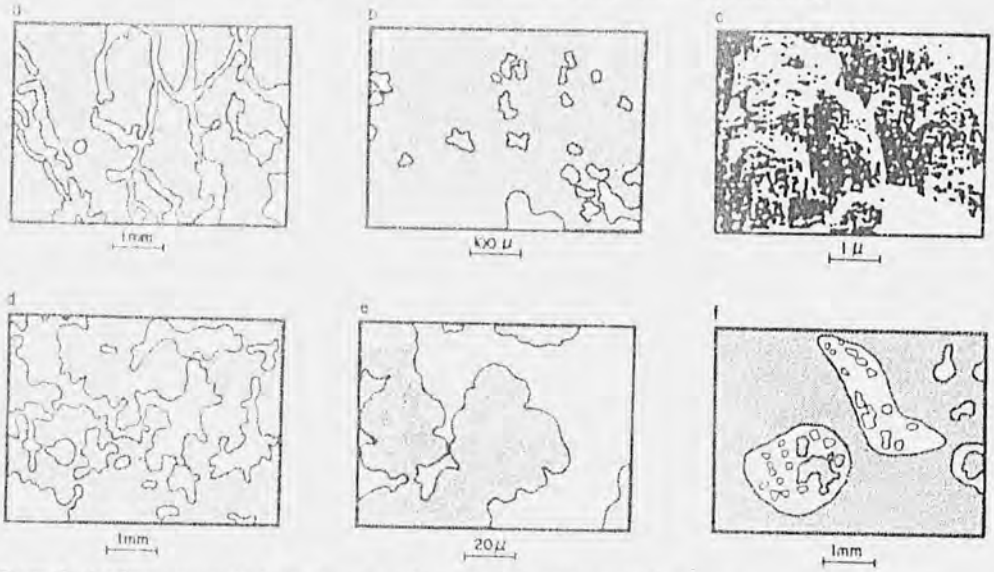


Figure 8 Systèmes poreux dans un sol rouge sur basalte (peu de squelette) de l'Adamaoua

horizon compact : a = fissures d'argilanes
b = vides polyconcaves

horizon poreux : c = assemblage de cristallites (0,1 µ)
d = macropores et bâti continu

horizon poreux : e = arrondis et rentrants
f = sections de galeries de termites

Le passage de cette structure souple et aérée à la structure massive de l'horizon compact superficiel se fait d'abord par effondrement des plus gros pores, qui se réduisent en pores polyconcaves, puis la fonte structurale affecte elle-même les arrondis des micropeds. L'on n'observe plus alors qu'une masse presque continue de cristallites élémentaires. Des fissures apparaissent enfin dans cette masse rigide. Elles sont en partie comblées par de l'argile rouge dispersée en surface sous l'impact des gouttes de pluie. Cet horizon est traversé aussi par des galeries de termites.

Sols jaunes du Sud

Les horizons meubles présentent eux aussi une forte porosité inter-communicante, qui n'est bien discernable qu'au MEB, et qui résulte d'assemblage bord-face de particules aplaties dont le diamètre est de l'ordre de 10 à 50 µ. L'organisation interne de ces particules n'a pas été analysée.

Au total, horizons rouges et horizons jaunes présentent d'une part un réseau de pores grossiers communicants qui correspondent à la macroporosité et qui assurent un drainage rapide, d'autre part une porosité fine assurant la rétention d'eau dans les conditions naturelles.

CONCLUSIONS

Une caracteristique essentielle des sols ferrallitiques du Cameroun

Le développement progressif, de bas en haut du sol, d'une macroporosité toujours remplie par de l'air (milieu oxydant) paraît être une caracteristique importante des sols ferrallitiques formés en conditions de stabilité tectonique et climatique. Une longue durée d'évolution et un faible contraste saisonnier assurent en effet, dans le milieu tropical humide et avec la protection d'un couvert végétal dense, à la fois un épaississement des horizons et l'acquisition d'une porosité grossière.

Le maintien d'une porosité suppose, outre l'intervention constante d'agents de porogenèse, une certaine stabilité de l'assemblage fin du sol. Or on constate, en procédant à l'humectation de mottes prélevées à profondeurs décroissantes que cette stabilité est une propriété acquise progressivement de bas en haut du sol. Elle est donc elle-même liée à l'épaississement des horizons. Celui-ci amortit de mieux en mieux la filtration des ondes pluviales (et les flux thermiques), donc le maintien d'un drainage vertical libre et profond, ce qui favorise en retour l'acquisition d'une structure fine et poreuse.

Modification de cette caractéristique par accentuation du contraste pédoclimatique

Une organisation donée, stable dans des conditions données de pédoclimat, se transforme lorsque ces conditions se modifient au-delà de certains seuils. L'horizon compact superficiel des sols rouges de l'Adamaoua est un exemple de transformation des horizons meubles des sols ferrallitiques lorsque le contraste hydrique et thermique du bioclimat s'accentue, et consécutivement celui du pédoclimat. Le seuil au-delà duquel s'effondre la structure poreuse de ces horizons meubles est le franchissement périodique du pF 4.2 (alternances d'humectation et d'ultra-dessiccation). Ce franchissement provoque en effet la vidange de micropores (0,1 micron) résultant de l'assemblage de microparticules plasmiques (argilo-ferriques). Le phénomène s'auto-accentue, l'augmentation de compacité modifiant les conditions hydrodynamiques et biologiques dans un sens qui accroît le contraste pédoclimatique. On atteint finalement un niveau de compacité dépendant du niveau de contrainte qu'on peut quantifier par la porosité totale hors squelette.

Modification par l'homme des conditions de pédoclimat

Dans l'Adamaoua, les interventions anthropiques par brûlage de la végétation herbacée et piétinement de troupeaux ne modifient pas sensiblement la compacité de la couche superficielle du sol. Cette compacité résulte donc seulement du contraste naturel du bioclimat: le niveau énergétique de ces interventions anthropiques est donc inférieur à celui des contraintes naturelles.

Dans le Sud-Cameroun par contre, le contraste pédoclimatique créé par la mise en culture (ou plus encore par le façonnement de talus routiers) déstabilise la structure meuble et poreuse des horizons jaunes ferrallitiques. On observe en effet sous jachère une tranche de sol plus compacte, marquée de nombreux argilanes d'illuviation (associés aux pores tubulaires). La déstabilisation de ces horizons s'accompagne donc d'une disjonction du squelette et du plasma.

Modifications par reprise d'érosion en Guyane

Le système interactif "horizon poreux épais - drainage vertical libre" existe aussi dans cette autre région tropicale qu'est la Guyane. Mais il y est en grande partie remplacé par un autre système : "horizon médian compact - drainage vertical ralenti" avec apparition consécutive d'un drainage latéral interne et superficiel.

Il a été montré (Boulet *et al.* 1979) que ce changement de drainage était dû à un amincissement de l'horizon poreux, qui n'amortit plus alors les ondes pluviales en filtration. Le seuil de déclenchement (épaisseur de l'horizon poreux) varie avec les paramètres climatiques

(intensité x longueur x périodicité des averses) et avec des paramètres pédologiques (structure et comportement du réseau poral). Cet amincissement peut être dû à une augmentation de pluviosité. Mais comme la transformation progresse vers le haut de versant et est inégalement avancée selon les endroits, une autre cause paraît être un rehaussement du socle en bordure du bouclier guyanais provoquant une reprise d'érosion régressive.

Au total, la grande macro-porosité des sols ferrallitiques du Cameroun apparaît comme un caractère acquis progressivement en conditions de drainage vertical libre et profond. Son développement est lié à l'épaississement de l'horizon poreux, ce qui suppose une longue durée d'évolution et une stabilité du paysage. Ces conditions favorables de drainage se péjorent quand le contraste saisonnier du pédoclimat s'accentue:

1. par augmentation du contraste bioclimatique (Adamaoua)
2. par altération du couvert végétal (défrichement et mise en culture)
3. par amincissement de l'horizon poreux (reprise d'érosion en Guyane).

BIBLIOGRAPHIE

BOCQUIER, G., MULLER, J.P. et BOULANGE, B. 1984. Les latérites : connaissances et perspectives actuelles sur les mécanismes de leur différenciation. Livre Jubilaire du Cinquantenaire de l'AFES pp.123-138.

BOULET, R. 1974. Toposéquences de sols tropicaux en Haute Volta : équilibres dynamiques et bioclimats. Thèse Science, Strasbourg, 330p. multigrs. et Mém. ORSTOM, n° 85, 1978.

BOULET, R., BRUGIERE, J.M. et HUMBEL, F.X. 1979. Relations entre organisation des sols et dynamique de l'eau en Guyane Française septentrionale. Conséquences agronomiques d'une évolution déterminée par un déséquilibre d'origine principalement tectonique. Science du Sol Bull. de l'AFES, n° 1.

CHAUVEL, A. et PEDRO, G. 1978. Genèse de sols beiges (ferrugineux tropicaux lessivés) par transformation des sols rouges (ferrallitiques) de Casamance (Sénégal). Modalités de leur propagation. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. vol. XVI, n° 3, pp.231-249.

HUMBEL, F.X. 1974. La compacité de sols ferrallitiques du Cameroun : une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIII, n° 2, pp.3-27.

HUMBEL, F.X. 1976. L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. Caractéristiques et comportements en relation avec les régimes hydriques et les bioclimats. Travaux et Documents de l'ORSTOM, n° 54. 306p.

SUCHEL, J.B. 1972. La répartition des pluies et les régimes pluviométriques au Cameroun. Travaux et Documents de Géographie Tropicale, n° 5. CEGET, Talence, France. 287p.

SOIL SURFACE CRUSTING - SOME AGRONOMIC IMPLICATIONS

CHRISTIAN VALENTIN
ORSTOM, BP. V-51, Abidjan, IVORY COAST

ABSTRACT

Any study on soil surface crusting for agronomical purposes should include three steps:

1. Identification and description of the problems, in combination with the study of the processes of crust formation and its subsequent evolution. Examples in Ivory Coast, Burkina Faso, and Senegal show that crusts should be studied together with environmental and socioeconomic parameters, including their variations both in space and time.

2. Quantitative characterization of crusting and crusting impacts. Notwithstanding that standardized methods are still lacking, it is necessary to assess crustability using a comparative and predictive index. Some easy methods enable measurements to be made of crust infiltrability and surface strength.

3. Crust control. Three major approaches may be distinguished: the first one aims at strengthening the bonding agents between particles, using organic residues or soil conditioners. The second way is to protect the soil surface from impacting raindrops using cover (mulch, mixed cropping). The third approach consists in selecting appropriate land use and farming practices with reference to the environmental data. This agronomical method is often sufficient to limit crusting hazards.

To implement a development strategy, it is necessary to rank the different constraints (biophysical and socioeconomic) and to establish the inter-relationships between the various factors. In this connection, crust problems should not be neglected.

RESUME

L'ENCROUTEMENT DE LA SURFACE DU SOL - IMPLICATIONS AGRONOMIQUES

La formation de pellicules à la surface du sol entraîne de nombreux problèmes: Elles constituent une entrave à l'infiltration de l'eau, aux échanges gazeux et thermiques, et à la levée des semences. Les études dans ce domaine doivent respecter trois étapes:

1. Identification de la nature et de la distribution de ces pellicules. Pour être pertinente, une telle analyse doit viser à mettre en évidence les relations de ces pellicules avec les autres composantes du milieu biophysique (distribution des sols dans leurs trois dimensions, position topographique, pente, microrelief, formes d'érosion, couvert végétal, activité faunique,...) et les données du système de production (calendrier cultural, itinéraires techniques, ..., mais aussi : contraintes d'ordre social et économique). De plus, la variabilité des organisations pelliculaires doit être étudiée dans l'espace (par exemple, au sein d'une unité de modelé, comme un bassin versant) et dans le temps (en fonction notamment des variations saisonnières, des fluctuations climatiques, et de l'evolution démographique).

2. Caractérisation et quantification des effets des pellicules. Il convient de déterminer la sensibilité des sols à l'encroûtement par un test simple. On doit également mesurer la diminution d'infiltrabilité et l'augmentation de résistance à la pénétration que les pellicules superficielles provoquent. Ces paramètres doivent être déterminés tout au long du cycle cultural. De plus, il est nécessaire de préciser les effets de ces pellicules, non seulement sur le site d'étude, mais également à l'aval.

3. Choix de méthodes de lutte. Trois grandes voies qui se complètent peuvent être suivies. La première consiste à augmenter, par des apports de conditionneurs ou de produits naturels, la résistance intrinsèque des mottes. Il s'agit de l'amélioration de la stabilité structurale. La seconde méthode joue sur les facteurs externes, c'est à dire essentiellement la pluie (ou les apports par irrigation): protection du sol par paillage, système de cultures associées,... Enfin, la troisième méthode concerne le choix d'itinéraires techniques mieux adaptés (taille des mottes, microrelief,...).

Comme pour toute étude touchant au domaine agronomique, il con-

vient d'adopter une approche globale. Les problèmes de dégradation de la surface du sol, ainsi que leurs solutions, doivent nécessairement être situés dans leur environnement biophysique et dans leur contexte humain.

INTRODUCTION

A suitable structure is just as important for sustainable agriculture as are adequate water and nutrients. When cultivated soils are unable to withstand raindrop impact without crust formation, or to tolerate wetting without slaking, they frequently suffer from erosion. Moreover, even high quality seeds may produce a very poor crop stand as a result of hard surface crust which impedes seedling emergence. Consequently much attention needs to be paid to surface soil conditions. The main objective of this paper is to provide some principles to guide surface crust studies for management. To assess the possible courses of action and to formulate appropriate strategies, planners must make best use of the available information and data, including:

1. a detailed inventory of the nature and extent of observed soil surface problems;
2. an assessment of crusting impacts at various scales, both in space and time;
3. a set of realistic methods to control surface crusting.

IDENTIFICATION, DESCRIPTION, PROCESSES AND EVOLUTION

Identification of the crusted areas

Relevant information on the extent and nature of soil surface crusts in a region should be gained prior to any action. It is necessary to establish relationships between crust occurrence and agroecological factors. This approach may be illustrated by two examples.

In the first one (Figure 1), inventories took the form of detailed maps (1:2,500) showing the nature and extent of a number of characteristics, which include topography, vegetation, soils (three-dimensional analysis) and soil surface features (crusted areas, marks of erosion, termite mounds) on a watershed (1.36 km^2) in northern Ivory Coast. Some relationships could be established between these biophysical parameters: where the weathered rocks are shallow, iron pans and gravelly materials outcrop them. Geologic structures govern soil features that are related to specific topography and forms of erosion. Only minor forms of crusting are observed in upslope red soils, whereas mid- and down-slope ochreous and yellow soils are more seriously crusted, in combination with a more scanty savanna vegetation. However, these relationships between deep soil and surface characteristics may be difficult to establish. Owing to

the many factors involved in surface crusting, frequent discrepancies are found between the boundaries of deep and surface units. Such discrepancies may indicate some evolution trends due to climatic or land use changes. In contrast, similarity between boundaries may reflect a sort of harmonious steady state between soils, climate and land use.

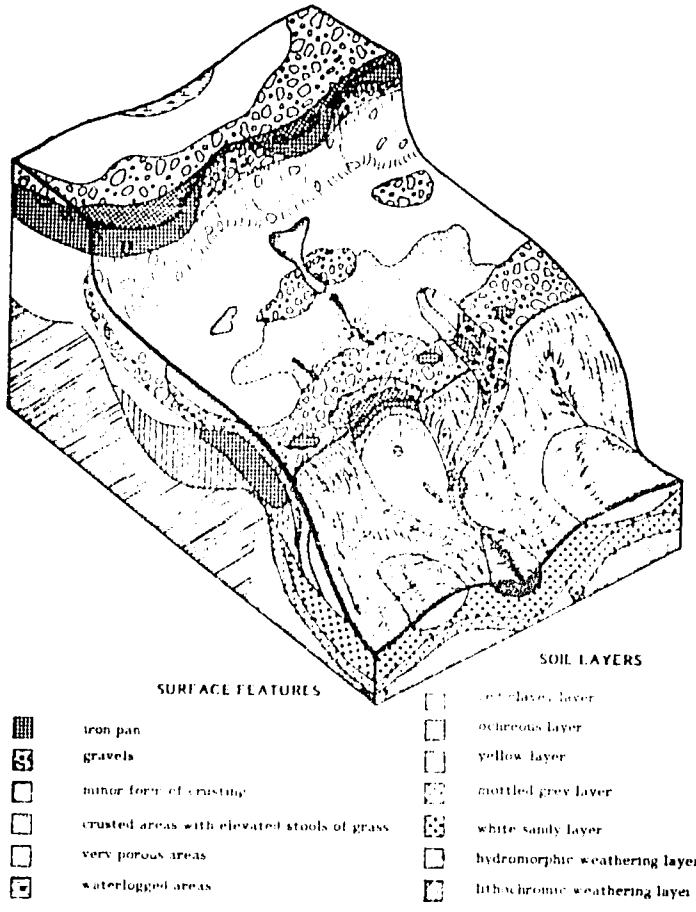


Figure 1. Soils, surface features and forms of linear erosion in a typical landscape of northern Ivory Coast (after Valentin, Fritsch and Planchon, 1986).

The second example is a typical landscape (Figure 2) in the northern Mossi Plateau (Burkina Faso) which comprises three main units:

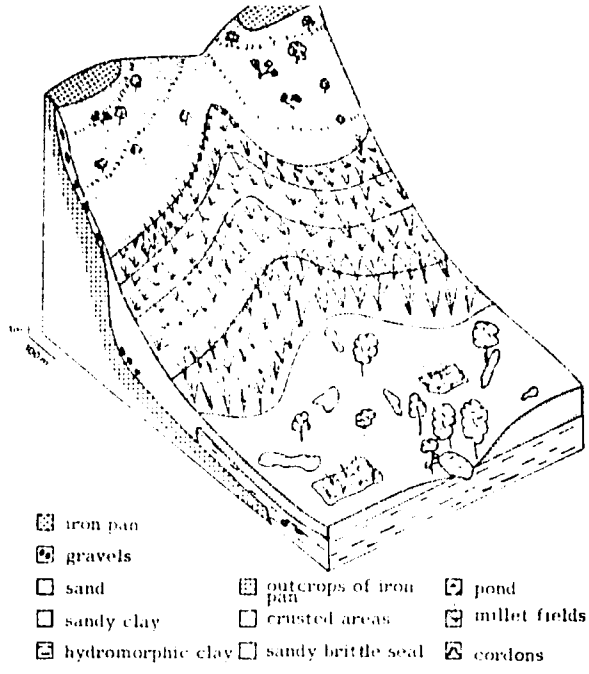


Figure 2. Soils, surface features and land use in a typical landscape of northern Mossi Plateau - Burkina Faso - (after Serpantie and Valentin, 1985).

Upslope unit (Figure 3)

An iron pan is overlaid with a skeletal soil. Despite the presence of iron gravels on the soil surface, the soil is severely crusted. The native vegetation consists of few shrub trees but the grass cover is spare or nearly absent due to the protracted drought. As a result, this unit produces excessive overland flow and erosion as betokened by microclives and pedestal features.

Figure 3. Upslope site of the landscape in Burkina Faso (see Figure 2).

Midslope unit

Unlike the previous area, the unit is completely cultivated. The boundaries of the collective fields match with the limits of the remnants of aeolian sand deposits, which are as thick as 2 m. In order to minimize erosion hazards and to increase infiltration of water, the farmers collect blocks of iron pans from the upslope unit to install low cordons at contour that reduce runoff velocity (Figure 4). These sandy soils are also vulnerable to crusting, but the brittle seal is easily broken by tramping. A more severe physical constraint is the ploughpan which develops even under low pressures, as produced by bullock-drawn implements.

Figure 4. Midslope site of the landscape in Burkina Faso (note the cordon at contour, see Figure 2).

Downslope unit

This unit is characterized by poor drainage conditions and the presence of a temporary watertable. Owing to less favourable conditions, cultivation is confined to small individual fields that keep out the numerous bare areas with sealed surfaces unfit for agriculture. In order to reclaim these barren spots, farmers cover them, usually with lopped-off branches. This sort of mulching practice has a twofold effect: it traps the wind-drifted sand, thus promoting the formation of a favourable seedbed; moreover, it attracts termites that perforate the crust, whereby infiltration is greatly enhanced.

It may be seen that on-site and off-site impacts should be considered: in this instance, advantage is reaped even from the upslope crusted zone as far as it is used as an impluvium for water-harvesting and runoff farming.

DESCRIPTION AND PROCESSES

Description

In combination with identifying the crusted areas, description

of these surface crusts must be carried out. Equally important is the assessment of their mechanisms of formation. The sound principles of crust description do not differ from those of soil profile. But due to the thickness of the vertical sections, which rarely exceeds a few millimeters, the use of a field magnifier (and if necessary microscopic techniques) is required. The main parameters to be taken into account are:

1. the boundaries between microlayers in terms of continuity, distinctness and smoothness;
2. the granulometry and stoniness;
3. the porosity: cracks, vesicles, faunal voids;
4. consistency and cementation.

The areal variations of these microlayers as influenced by other factors (microtopography, top soil characters, soil cover, faunal activity) must be studied with care. Such information makes it possible to establish the interrelationships between the various surface features.

Processes of formation

Studies conducted under natural rainfall conditions or simulated rainfall (Collinet and Valentin, 1984) showed that great variations occur among the soils due to their texture. Contrary to what one would expect considering their porous nature, overland flow and erosion are frequently observed on sandy soils as a result of crusting that can occur even in materials virtually made of 90% sand (including more than 50% coarse sand (Valentin, 1981). In such cases, the crust comprises three well sorted microlayers (Figure 5): the uppermost is composed of loose coarse sand grains, the middle one consists of fine cemented sand grains with vesicular pores, and the lower micro-layer is a plasmic seal composed of a higher concentration of fine particles with considerably reduced porosity. It must be noted that such a pattern is just the reverse of what is observed in a sedimentary crust, where the finer particles are on the top and the coarser at the bottom.

Figure 5. Drawing after a thin section from a crusted sandy soil in Agadez - northern Niger - note the three microlayers (after Valentin, 1981).

Examinations of time-sequence thin sections showed that the impact of raindrops triggers the formation of microcraters, the walls of which present a clear vertical sorting of materials. This vertical differentiation results mainly from a mechanical sieving of materials so that the finer the particles are, the deeper they are washed in.

In loamy and clayey soils, processes are more complex and result in two major types of crusts that are formed in succession: (Figure 6).

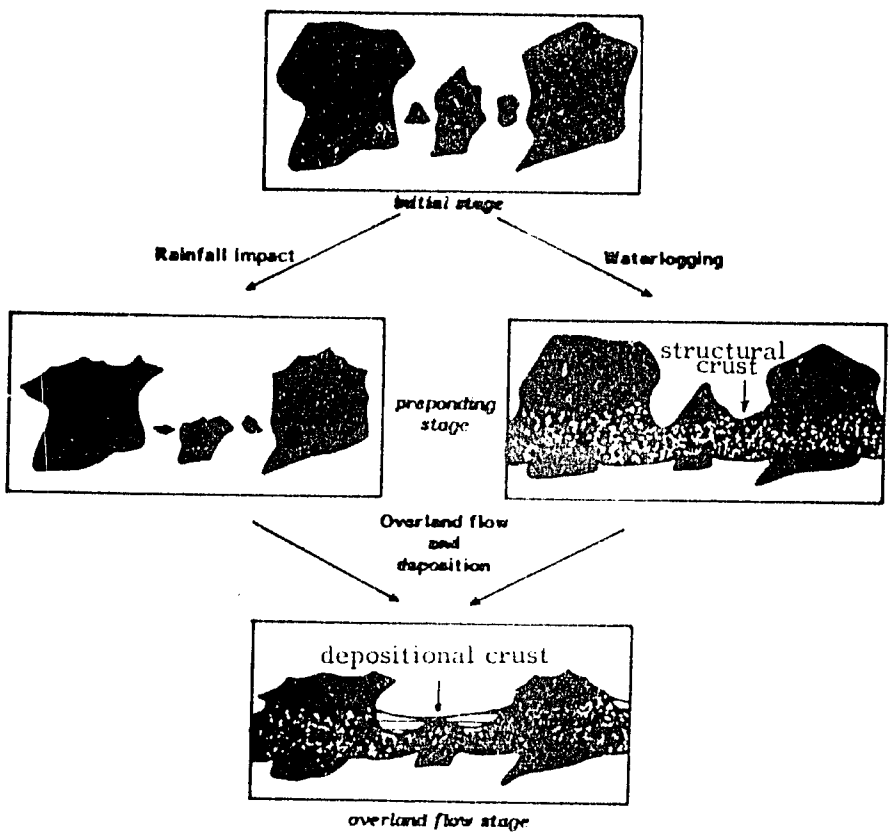


Figure 6. Schematic diagram of crust development in a tilled clay-loamy soil (after Valentin, 1981).

* Structural crust due to slaking which may occur independently from any impact forces, provided that the structural stability is low;

* Depositional crust which is formed under overland flow. It develops once the saturated conductivity of the structural crust has sufficiently declined to be exceeded by rainfall

(or irrigation) intensity.

Broadly speaking, four major types of crust can be discriminated in the field in terms of features and genesis (Table 1).

Table 1. Main features and factors of formation of 4 major types of crust.

Type of crust	Main features	Main processes
Splash crust	vertical sorting with coarse particles on top	splash erosion, washing in, compaction by raindrop impact
Structural crust	mixed and compacted particles, includes remnants of clods	slaking, waterlogging
Depositional crust	well sorted laminae	deposition under overland flow conditions
Sedimentation crust	vertical sorting with coarse particles at bottom, when dry often curled up.	deposition in still conditions

SOIL SURFACE EVOLUTION

Medium-term dynamics

Particular emphasis should be placed on the evolution of surface crust through time. For instance, climatic variations can cause dramatic changes in soil surface features as illustrated by an example in northern Senegal (Figure 7).

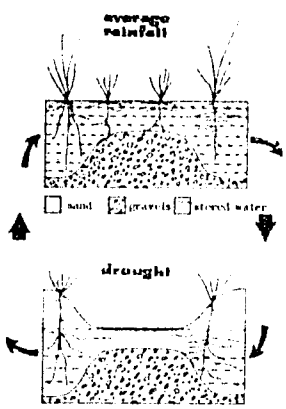


Figure 7. Schematic natural cycle of soil surface features as influenced by medium-term climatic fluctuations in northern Senegal (after Valentin, 1983).

When rainfall is sufficient, soil surface is covered with a continuous grass layer and not much sealing occurs. During periods of below average rainfall, plant communities collapse precisely where moisture shortage is the most severe, namely on shallow gravelly soils. Although in the event the case rarely occurs, rainfall is sufficient to cause the disjunction between fine and coarse particles. As a result, a splash crust (Table 1) develops where the vegetative cover is deficient; in other words, a sandy microlayer is formed above a cohesive seal. This sandy layer is easily wind-drifted and entrapped by the surviving vegetation nearby. During subsequent normally wet periods, recolonization of blowout areas is quite rapid once rains have eroded the micromounds, covering bare spots with sands. Such a cyclic pattern results from the combination of several factors which may in sum be attributed to the interactions between climate (rainfall and wind), soil and vegetation.

Long-term dynamics

An example from Burkina Faso will illustrate some long-term effects. A recent study (Albergel and Valentin, 1986) has shown that between 1956 and 1980, the cultivated land within a 12.8 km^2 watershed was doubled while fallow was halved. Such a change in land use patterns may be ascribed not only to the effect of the burgeoning population (more than 2% a year) but also, to some extent, to the drought itself as far as the farmers tend to cultivate larger areas as a way of compensation for deteriorated yields. Within the same period, annual rainfall was decreased by 44%, while runoff coefficients were increased by 50%. This hydrological alteration was blamed by the authors on so-called "sahelisation processes", namely on the occurrence of specific sahelian features within the Sudanian Zone: native shrub savanna decayed from 80% to 45% as expressed by watershed cover, while severely crusted and eroded surfaces were multiplied by 20.

This example should draw attention to the need for long-term studies which involve the interactions between climate, soil, vegetation and - not to be neglected - man.

METHODOLOGY TO CHARACTERIZE SOIL SURFACE CRUSTING

Assessment of crustability

Undoubtedly there is a need to define a sound method to assess crustability of top soil, namely to find a relevant index concerning its vulnerability to crusting. Deploey and Mucher (1981) proposed such an index which is derived from the upslope part of the Atterberg liquid limit curve: $C_{5-10} = W_5 - W_{10}$, in which W_5 and W_{10} are the water contents, in % of the dry weight, after 5 and 10 blows respectively. However, care is required in using such a predictive

index since it is now well established that soil crusting depends not only on intrinsic factors but also on many external factors: soil cover, microtopography, cropping history, rainfall energy, soil moisture, faunal activity, etc. This consistency index may be useful in comparing soils, other factors being equal.

Crusting impacts on infiltrability and surface strength

Particular emphasis should be placed on quantifying the influence of surface crusting on infiltrability and soil strength. Rainfall simulators are useful instruments to assess the rapid collapse of infiltration capacity due to crust formation under rainfall conditions, but such instruments are not available everywhere. Monnier and Boiffin (1985) proposed a cheap and simple field method: the infiltrability of a wet surface crust is evaluated by measuring the steady diameters of saturating water stains formed on the surface by drip sources. The values of hydraulic conductivity thus obtained were found to be consistent with observations under rainfall.

It is much more delicate to measure crust strength as it affects seedling emergence, since so far there is disagreement about the best method to adopt: either modulus of rupture or penetration tests. For agronomical purposes, the use of a field penetrometer appears to be preferable, provided certain conditions are met: high sensibility of the instrument, numerous replications, and combined measurement of soil surface moisture.

Surface dynamics

To be useful for agronomists, the ongoing changes that take place through the entire cropping cycle must be considered as an integral part of the scheme of measurements, analysis and impact quantifications. As mentioned earlier, it may be relevant to identify the time sequence of the different types of crusts (Table 1). In this respect, it is useful to define an index for quantified studies. Such an index was recently proposed by Boiffin (1984): the diameter of the smallest discrete clod that has not yet lost its identity in the structural crust. While the structural crust develops, the values of this index increase and are consistent with other parameters, such as splash erosion and infiltrability.

In addition, other data must be collected through time: variation of microtopography, soil cover, and faunal activity. This can be easily carried out using the well established pin points method.

CRUST CONTROL

Deriving an anticrusting method from elsewhere may be uncertain since correct actions are dependent on local environmental conditions, farming practices, and socioeconomical constraints. Consequently

any method must be validated for the locality. However, some principles may be transferable, even though some adaptations are required. Keeping this in mind, some techniques may be pointed out corresponding to three major approaches:

Improving the internal factors

The aim is to strengthen the bonding agents between particles within the clods. Beneficial effects can be produced by the addition of farmyard manures, crop residues, sawdust, sewage sludge and other types of waste products. In recent years, considerable emphasis has been placed on the use of chemicals purporting to influence soil surface properties favourably. But, although a number of materials, so-called "soil conditioners", are still under investigation, apparently no one material so far has all the required qualities. Indeed, such a product should be cheap, easy and safe to handle, to apply and to store, and free from any unwanted side effects, such as inactivation of herbicides or damage to crops. As a result, at present the use of soil conditioners remains confined within very specific applications.

Modifying external factors

This approach refers to the use of soil cover in minimizing or preventing the beating action of raindrops. In this respect, indigenous anticrusting methods frequently appear efficient and should be more systematically evaluated: mulching, dense growing crops, crop rotation, strip-cropping and mixed cropping, and the overall farming system.

Besides, closer attention should be paid to soil crustability when selecting an appropriate irrigation system.

Developing appropriate surface management

Changing land use patterns may be vital to achieve some degree of land restoration. But even under a potentially unstable land-use system, significant improvement can be achieved with integration of proper tillage practices which produce minimum surface compaction. Likewise, considerable attention should be paid to seedbed preparation: in some cases, trials should be implemented to assess the optimal clod size distribution and surface roughness.

In this respect, Boiffin (1984) and many other authors have shown that the smallest clods enable the structural crust to develop fastest. Moreover it is usually preferable to install the seedling line in elevated rows rather than in depressed rows.

It would be beyond the scope of this short presentation to exhaust this crucial question. Other approaches need to be investigated,

such as the selection of crust-tolerant species as recently mentioned by Soman and Bidinger (1985).

CONCLUSION

Owing to the many factors involved, a preliminary inventory should cover the broadest aspects of the physical and human environment, prior to any study of surface crusting. The necessary knowledge to any improvement or rehabilitation strategy cannot be gained without establishing the complex interrelationships between these intricate factors. Furthermore, variability in space and time should be assessed in considering the onsite and offsite impacts of soil surface crusting and its short-term and long-term dynamics. Anticrusting strategy must be seen as only one element in an overall development policy, since surface crusting is only one physical constraint among others that have to be ranked. It is important, therefore, that specialists adopt a holistic, systemic approach so they can establish the linkage between biophysical and socioeconomic factors. Such a challenge can be taken up only by interdisciplinary research teams.

REFERENCES

ALBERGEL, J. et VALENTIN, C. 1986. "Sahelisation" d'un petit bassin versant soudanien : Bognere-Boulsa au Burkina Faso. Comm. au Colloque Sécheresse-Sahel, Janvier 1986, Paris. (in press).

BOIFFIN, J. 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse, Paris. 320p. + annexes.

COLLINET, J. and VALENTIN, C. 1985. Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. *In* : Challenges in African Hydrology and Water Resources. IAHS Publ., no. 144, pp.451-461. 6 tbls., 3 figs., 16 refs.

DE PLOEY, J. and MUCHER, H.J. 1981. A consistency index and rain wash mechanisms on Belgian loamy soils. Earth Surface Processes and Landforms, 6:319-330. 9 figs., 17 refs.

MONNIER, G. and BOIFFIN, J. 1985. Infiltration rate as affected by soil surface crusting caused by rainfall. *In* : Proc. Int. Symp. Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting. GHENT, September 1985. (in press).

SERPANTIE, G. et VALENTIN, C. 1985. Dynamique du milieu physique de la zone agro-pastorale de Bidi (Yatenga - Burkina Faso) : Premières observations. Techn. rep. ORSTOM, Ouagadougou. 12p., 3 figs., 4 refs.

SOMAN, P. et BINDINGER, F.R. 1985. Evaluation of genotypic differences in seedling emergence though simulated soil crust in the field. *In* : Proc. Int. Symp. Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting. GHENT, September 1985. (in press).

VALENTIN, C. 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdesertique (Agadez, République du Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. These 3ème cycle. Etudes et Thèses ORSTOM, Paris, n° 1. 259p.

VALENTIN, C. 1985. Effects of grazing and trampling on soil deterioration around recently drilled waterholes in the Sahelian zone. *In* : Soil Erosion and Conservation. Soil Cons. Soc. America edit. pp.51-65. 2 tbls., 6 figs., 26 refs.

VALENTIN, C., FRITSCH, E. et PLANCHON, O. 1986. Sols, surfaces et formes d'érosion linéaire en milieu ferrallitique de savane. L'exemple d'un bassin versant du nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Techn. rep. ORSTOM, Abidjan. 15p., 5 figs., 21 refs.

SOLS, SURFACES ET FORMES D'EROSION LINEAIRE EN MILIEU FERRALLITIQUE DE SAVANE: L'EXEMPLE D'UN BASSIN VERSANT DU NORD-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE

CHRISTIAN VALENTIN
EMMANUEL FRITSCH ET OLIVIER PLANCHON

ORSTOM, BP. V-51, Abidjan, IVORY COAST

RESUME

La comparaison de documents cartographiques à grande échelle (1:2.500) correspondant aux sols, aux états de surfaces et aux formes d'érosion linéaire d'un petit bassin versant de savane humide permet d'établir des relations entre ces différentes composantes du milieu. Il apparaît qu'une forte part du modelé est déterminée par la pédogenèse, elle-même influencée et guidée par les structures géologiques. Les phénomènes d'érosion interne, ou le processus "pseudokarstiques", sont en effet particulièrement marqués. Toutefois, les limites des différentes unités d'organisations profondes et superficielles coincident rarement, du fait des vitesses différentes d'évolution. Les relations substrat-sols-modelé valident la démarche morphopédologique (ou plus exactement pédomorphologique) et facilitent l'extension régionale des études detaillées.

ABSTRACT

SOILS, SURFACES AND LINEAR EROSION FEATURES

IN A SAVANNA FERRALLITIC ENVIRONMENT:

CASE STUDY OF A CATCHMENT IN NORTHWEST IVORY COAST

A comparison of large-scale cartographic documents (1:2,500) relating to soils, the state of surfaces, and linear erosion patterns for a small catchment in a humid savanna region is used to establish

the relationship between the different constituents in the area. It was found that the relief is largely determined by the pedogenesis, which in turn is influenced and controlled by the geological structures. Internal erosion phenomena, or "pseudokaratic" processes, are particularly affected. However, the limits of different organizational entities, both underground and on the surface, are rarely the same due to their different rates of evolution. The relation between substrata-soils-relief justifies a morphopedological approach (or rather a pedomorphological approach) and facilitates the extension of detailed studies to a regional level.

INTRODUCTION

Dans le milieu tropical, le démantèlement naturel des cuirasses produit des quantités importantes de gravillons que l'on retrouve à la surface des sols, soit par accumulation résiduelle, soit par épandage. La présence et la densité de ces gravillons en surface influencent l'infiltrabilité et l'érodibilité des sols. Une forte densité de ces [illegible] favorisent grandement l'infiltration de l'eau (Collinet et Valentin, 1979) à condition toutefois qu'un horizon imperméable ne soit pas subaffleurant (Albergel, Ribstein et Valentin, 1985). Mais une telle observation doit être nuancée: si la terre fine est peu stable, ces gravillons se trouvent enchassés dans des organisations pelliculaires, et l'infiltrabilité est alors très réduite (Valentin et Mahop, 1983; Poesen, 1985). Ce cas est particulièrement fréquent dans les zones arides. Mais, dans tous les cas, la présence de gravillons en surface assure une nette réduction des pertes en terre: des mesures réalisées sous mini-simulateur de pluie à travers l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest ont fait apparaître une diminution exponentielle de la détachabilité en fonction du taux de gravillons (Collinet et Valentin, 1984).

Si ces effets sont bien connus à l'échelle de la petite parcelle, ou du champ, les observations portant sur des échelles plus larges restent rares. Les relations entre cuirassement, gravillons et érosion linéaire sont, notamment, très mal connues. Or, l'étude détaillée d'un petit bassin versant du nord de la Côte d'Ivoire qui associe divers spécialistes (pédologues, hydrologues, botanistes, termitologues, géologues et géophysiciens) fournit une occasion privilégiée d'étudier des différentes formes d'érosion, et plus particulièrement d'érosion linéaire. Ce bassin présente en effet d'assez nombreux ravinaux très peu ramifiés et qui, pour la plupart, ne sont pas raccordés à l'axe principal d'écoulement. Nous nous proposons de mettre en évidence certaines relations entre les sols (et leur substrat), les états de surfaces et ces différentes formes d'érosion.

CADRE DE L'ETUDE

La région choisie correspond à la zone climatique où la prévision des crues pose le plus de problèmes (Dubreuil et Vuillaume, 1975).

C'est en effet pour cette region de savane préforestière que les relations entre les composantes du milieu et son comportement hydrique s'avèrent les plus complexes du fait des fortes variations saisonnières (Poss et Valentin, 1983) et de l'existence d'un écoulement de base important (Chevallier et Sakly, 1985). Le choix de cette région a été motivée également par sa représentativité du quart nord-ouest de la Côte d'Ivoire, zone cartographiée à 1:200,000e par les pédologues de l'ORSTOM (Yori, 1986; et travaux de Badarello, Beaudou, Camara, Lévêque, Poss, Viennot et Yoro).

Cette région est peu peuplee. C'est la culture traditionnelle qui prédomine: buttage de l'igname, billonnage du coton et culture à plat du riz, du maïs et de l'arachide. La succession culturale la plus fréquente (Mameri et Boa, 1984) est: igname-riz pluvial-arachide-manioc. Il arrive toutefois que la sole commence par du coton, seule culture recevant un apport d'engrais. Les champs présentent souvent des cultures associées (par exemple riz-maïs-légumes). Ils sont abandonnés après 7 ou 8 ans du fait de la baisse sensible des rendements, de l'enherbement, et de l'apparition de griffes d'érosion. La durée de la jachère peut atteindre 40 ans, tant la pression démographique reste limitée.

Le bassin versant retenu pour cette étude couvre 136 ha. Son altitude varie entre 475 m (plateau cuirassé) et 427 m (exutoire). Un levé topographique détaillé a permis de dresser une carte topographique à 1:2,500 dont l'equi-distance des courbes est de 1 m (Chevallier *et al.*, 1985). D'autres documents cartographiques ont été réalisés à la même échelle. Ce sont eux qui serviront de base à notre exposé.

UN SUBSTRAT ONDULE, UNE COUVERTURE PEDOLOGIQUE COMPLEXE

Nous nous bornerons à résumer, au risque de schématisations abusives, la présentation qui vient d'en être faite (Fritsch, Planchon et Boa, 1986).

Le substrat essentiellement gneissique presente deux faciès (gneiss-migmatitique à biotite et gneiss-migmatitique à hypersthène), et deux directions de litage différentes. Dans les deux cas, le substrat est affecté par des ondulations et un réseau de diaclases et de fissures.

Il est possible de distinguer au sein de la couverture pédologique (figure 5):

- des sols ferrallitiques rouges et profond qui bordent quatre plateaux cuirassés relictuels,
- ces sols subissent en passant vers l'aval un appauvrissement graduel et latéral en fer et en argile, associé à la succession de sols ocres, jaunes, puis blancs. Ces derniers sols, totalement éluviés, sont sableux. Dans les bas-fonds, des produits

colluviaux-alluviaux plus fins les recouvrent souvent ou s'individualisent en lentilles plus profondes;

- à la mi-versant, en position de rupture de pente, se sont développés des sols gravillonnaires, souvent indurés en carapace et en cuirasse.

DES ETATS DE SURFACE TRES DIVERSIFIES

Le terme peu précis d'état de surface est pris ici dans le sens "couvert végétal + organisations pédologiques de surface".

Les grands types de formations végétales ont été différenciés en fonction de critères classiques: présence ou absence de strate herbacée, densité et hauteur des ligneux.

D'une manière générale, et ceci est très fréquent en savane humide, les limites entre les différentes formations végétales ne recouvrent pas nettement les limites de la couverture pédologique. Cette étude détaillée permet néanmoins d'établir certaines relations, d'ordre statistique. Il est possible de distinguer une évolution générale de la végétation liée à la topographie, même si, dans le détail, cette évolution souffre de nombreuses exceptions dues, pour la plupart, à une origine anthropique (jachères, feux,...). La figure 1 présente la distribution simplifiée de l'occupation du sol par les grands types de formations végétales, les cultures et les jachères.

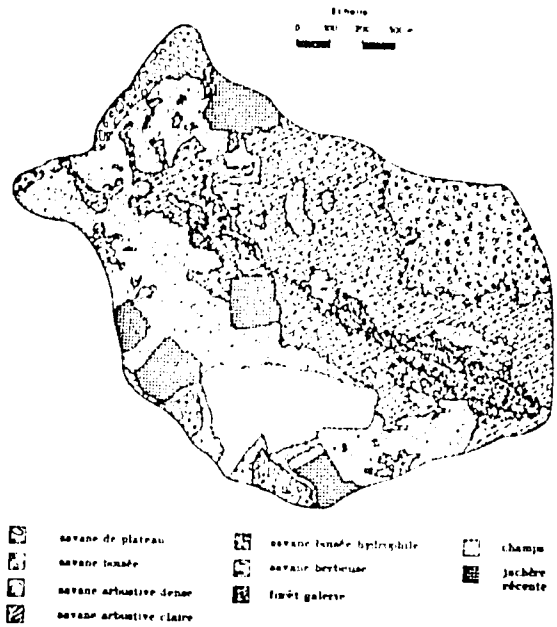


Figure 1. Formations végétales et occupation des sols

Savane de plateau

Le couvert végétal s'organise en auréole autour d'une mare temporaire (endoréisme dû à l'affaissement pseudo-karstique du centre des plateaux cuirassés). Cette végétation de bowal est constituée d'herbacées aquatiques qui occupent la mare temporaire, et d'un couvert de savane arbustive dense à sa périphérie.

Savane boisée

Il s'agit d'une strate herbeuse assez discontinue, voûte ligneuse, dense et haute. Ce type de couvert se limite au versant supérieur de la rive gauche, en aval du bassin. Cette zone correspond à une pente très peu marquée et à des sols ocres non gravillonnaires.

Savane arbustive dense

Le couvert herbacé est dense et quasi continu. Il est surtout constitué d'andropogonées (*Andropogon gayanus*, Kunth). Cette formation végétale occupe surtout l'amont du versant de la rive droite, où elle recouvre des sols rouges et ocres. Elle correspond également au talus des plateaux cuirassés, et aux affleurements gravillonnaires de la rupture de pente de mi-versant. En rive gauche, elle s'individualise en îlots.

Savane arbustive claire

Alors que le couvert ligneux est nettement moins dense que dans la formation précédente, la strate herbacée comprend essentiellement des graminées de type cespiteux. Il s'agit d'herbacées en touffes denses dont les entre-noeuds inférieurs sont très courts. Ces plantes vivaces sont particulièrement bien adaptées à la protection contre le feu (Bescoings, 1975). Cette formation occupe principalement la partie inférieure du versant situé en rive gauche, et la plus grande partie de la rive droite. Elle correspond ainsi à une bande qui traverse le bassin et qui peut-être assez bien reliée à une zone de faible profondeur du toit de l'altérite. Ses limites, constituées de lignes sensiblement parallèles, seraient en relation avec une structure géologique. Cette direction correspond notamment à certaines limites "en baïonnette" de la cuirasse de mi-versant (figure 1 *in*: Fritsch, Planchon et Boa, 1986).

Savane boisée hydrophile

Cette formation à couvert arboré dense flanque la forêt galerie en aval du bassin. Le sous-bois est constitué de graminées et de fougères. Cette unité est associée principalement aux sols jaunes.

Galerie forestière

Ce type de formation qui comprend des espèces ligneuses de forêt dense humide (Menaut, 1985, communication orale) est discontinue: elle n'occupe que les berges du marigot à l'aval du bassin, et sa tête en amont. A l'aval, elle correspond surtout à des sols blancs sableux, où apparaissent quelques lentilles argileuses, tandis qu'en tête de marigot, elle couvre aussi des flancs d'une sorte de cirque couronné par une cuirasse.

Savane herbeuse

Pratiquement dépourvue d'arbres et d'arbustes, cette formation est presque exclusivement constituée de grandes herbes (*Panicum phragmitoïdes* stapf, et *Andropogon tectorum* Schum et Thonn - TEHE, communication orale, 1985). Ces étendues plus ou moins marécageuses en saison des pluies correspondent à des matériaux sableux blancs, couverts de colluvions argileux.

Jachères et champs

D'étendue assez limitée, les zones mises en culture, ou laissées en jachères, se localisent sur la partie amont des versants, là où la fraction argileuse des horizons superficiels est supérieure à 15%. Les zones gravillonnaires sont également mise en valeur lorsque la terre fine est suffisamment argileuse. Tel est le cas notamment des affleurements gravillonnaires de la mi-versant. Il est à remarquer que la seule jachère qui s'étend en aval de la rupture de pente correspond précisément à l'extension d'une zone gravillonnaire à carapace, (figure 1 *in* : Fritsch, Planchon et Boa, 1986). Cette utilisation des zones gravillonnaires est très fréquente dans ce milieu; elles présentent en effet des aptitudes agronomiques certaines (Lévêque, 1982) pour le système de culture considéré.

Quant aux surfaces, nous nous limiterons à certaines organisations pédologiques superficielles qui nous semblent les plus importantes quant à la dynamique de l'eau et l'érosion. Nous laisserons ainsi de côté les surfaces à faibles réorganisations superficielles: celles qui se trouvent quasiment toute l'année sous un mulch de feuilles mortes (savane boisée, savane arbustive dense, savane boisée hydrophile, et forêt galerie) ou sous un couvert herbacé très dense (savane herbeuse).

Pour gagner en clarté, nous présentons ces surfaces sur deux cartes (figure 2 et figure 3).

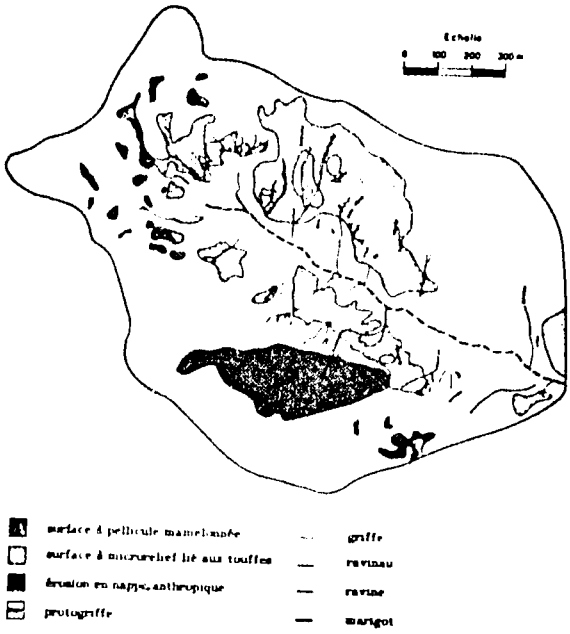


Figure 2. Principales surfaces et formes d'érosion

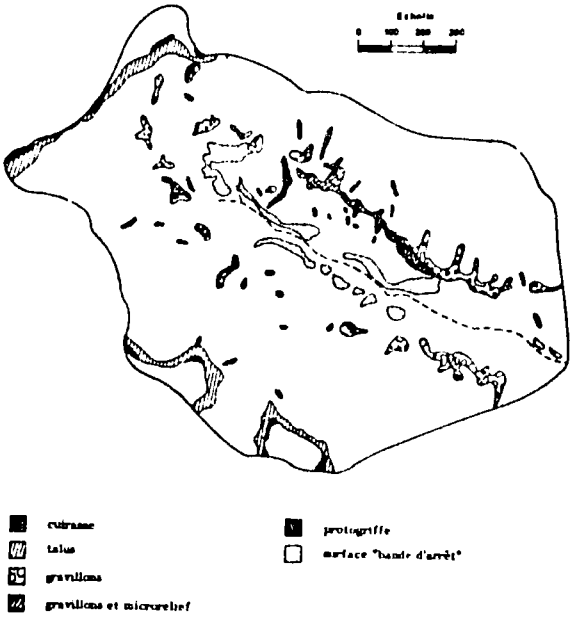


Figure 3. Diverses surfaces importantes pour le ruissellement et l'érosion

L'une des organisations de surface les plus caractéristiques du bassin s'individualise au sein de la savane arbustive claire. Elle se définit par l'existence d'un microrelief important lié aux touffes de graminées surélevées. Ces touffes sont le lieu d'une activité faunique intense alors que les plages intertouffes présentent des réorganisations superficielles marquées (individualisation en microhorizons sableux qui recouvrent une pellicule souvent associée à une porosité vésiculaire). C'est sur ce type de surface que les nids de *Trinervitermes* sont les plus nombreux. Ils sont entourées de plages nues pelliculaires dépourvues de végétation. Ce type de surface correspond à un ruissellement anastomosé marqué. Elle couvre tous les types de sols à l'exclusion des sols éluviés blancs à l'aval. Elle est peu représentée sur les sols rouges de l'amont.

La forme de ses limites laisse supposer qu'elle a tendance à regresser à l'aval et à progresser à l'amont.

En amont, elle est plus ou moins reliée à un autre type de surface qui pourrait la précéder dans le temps. Il s'agit d'organisations qui se développent en sommet de versant dans des clairières de forme digitée. Le microrelief n'y est pas marqué. Bien que l'activité faunique y soit généralisée (nombreuses termitières de *Macrotermes*), les organisations superficielles couvrent une part importante de la surface (pellicule mamelonnée à fentes).

Les limites de la surface à fort microrelief associé aux touffes sont nettement plus marquées à l'aval. Elles correspondent au contact, assez brutal, avec deux autres surfaces:

1. dans les parties convexes, une surface "bande d'arrêt". Il s'agit de zones caractérisées par un couvert herbacé dense, sans microrelief, sans réorganisations superficielles. Elles apparaissent essentiellement sur des sols jaunes. En saison des pluies, on y observe la disparition du ruissellement en nappe, ou concentré (figures 2 et 3). Ces surfaces qui assurent une infiltration importante permettent l'alimentation d'une nappe peu profonde qui affleure plus à l'aval et se déverse en une ligne de sourcins située légèrement au-dessus du marigot.

2. dans les parties concaves, la savane herbeuse. La surface de ces zones marécageuses présente un microrelief marqué, caractérisé par une très forte activité faunique (très nombreux turricules, et la présence de nombreux canalicules de ruissellement s'y observe). La limite entre ces zones dépressionnaires et la surface à fort microrelief associé aux touffes est très souvent soulignée par la présence de nids de *Cubitermes* (termitières, champignons) disposés en arcs de cercles.

C'est dans la surface à microrelief associé aux touffes que s'individualise un type particulier d'organisation que nous désignerons par le terme de protogriffes. Elles se caractérisent par une zone nue, le plus souvent allongée dans le sens de la pente, sans incision, mais à fortes réorganisations superficielles. Il semble que ce type de surface correspond au premier stade de concentration du ruissellement: passage du ruissellement anastomosé à un ruissellement plus orienté.

Signalons enfin les affleurements gravillonnaires où l'on distingue aisément (figure 3) d'une part les surfaces à microrelief, souvent situées à l'aplomb d'un horizon induré subaffleurant, et d'autre part, les surfaces planes, où la carapace est plus profonde.

LES FORMES D'EROSION LINEAIRE ET LEURS RELATIONS AVEC LES COMPOSANTES DU MILIEU

Plusieurs formes d'érosion linéaire ont été identifiées sur ce bassin versant, en définissant 4 classes de profondeur d'incision:

Protogriffes: (pas d'incision) définies plus haut, elles ne sont pas liées à une type de sol particulier et semblent plutôt dépendre des conditions topographiques (existence d'un microimpluvium de ruissellement anastomosé). Ces protogriffes peuvent s'inciser et se transformer en griffes; ces évolutions sont souvent liées (figure 2) au passage à un matériau moins resistant: par exemple au passage d'une carapace à un sol ocre, ou d'une cuirasse à une carapace.

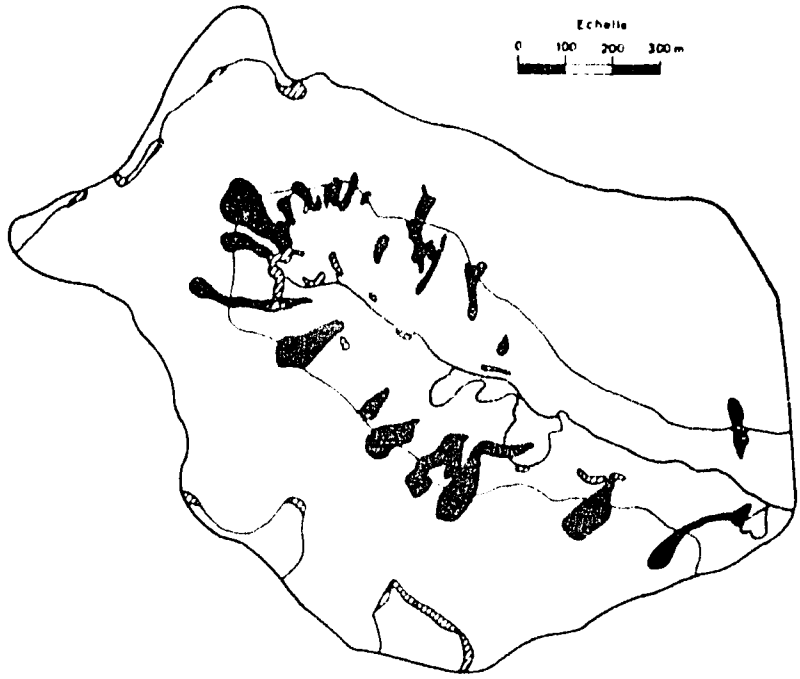
Griffes: elles se définissent par l'existence d'une incision peu profonde qui n'affecte que les horizons de pénétration organique. Cette forme d'érosion n'est pas non plus liée statistiquement à un type de sol ou de surface. Il est à remarquer que les champs ne sont affectés que par cette forme d'érosion linéaire (en plus de l'érosion en nappe - figure 2). Elle correspond donc à des processus actuels. Il faut noter aussi qu'un certain nombre de griffes sont reliées au marigot; elles se développent alors dans les dépressions, sur des colluvions argileuses qui recouvrent les sables blancs.

Ravinaux: il s'agit d'incisions plus profondes mais qui restent inférieures à un mètre. Elles se localisent essentiellement sur la ligne de rupture de pente. Leur existence n'est liée statistiquement ni à un type de sols, ni à un type de surface.

Ravines: l'incision est profonde et dépasse un mètre de profondeur (la plus marquée atteint 4 m). Ces ravines se localisent le plus fréquemment dans les sols ocres non gravillonnaires, sous savane arbustive dense. Il est intéressant de préciser que certaines de ces ravines atteignent et parfois même entaillent légèrement un matériau induré. D'amont en aval, le cas le plus fréquent de successions ravinau-ravine correspond au passage carapace-cuirasse. Ce paradoxe

n'est qu'apparent puisque l'induration peut-être postérieure à l'entaille de l' altérite, comme cela a pu être clairement montré pour l'une des ravines.

Si l'on ne s'attache plus uniquement à la profondeur des incisions mais aussi à leur zone d'influence topographique (figure 4), trois grands types d'incisions peuvent être différenciés:



zone d'influence topographique des incisions de mi-versant
zone d'influence topographique des incisions de dépressions
escarpement
ligne de rupture de pente

Figure 4. Zones d'influence topographiques des incisions

1) Les protogriffes et griffes situées au-dessus de la rupture de pente. Elles n'ont pas de zones d'influence topographique. Elles correspondent, comme nous l'avons déjà signalé, soit à une activité humaine (culture), soit à un type de surface (surface à microrelief). Dans certains cas, elles semblent plus ou moins en continuité avec les surfaces à pellicules mamelonnées de l'amont. Cet ensemble "surfaces à pellicules mamelonnées - surfaces à microrelief-protogriffes-griffes" peut, dans certains cas, être lié à des processus internes. Sous une de ces griffes, un drain profond a pu, en effet, être décrit. L'apparition de tels drains serait favorisée par la présence de diaclases sous-jacentes. Comme nous l'avons déjà évoqué, cet ensemble progresserait vers l'amont et pour-

rait se raccorder vers l'aval à des formes d'érosion linéaires plus évoluées et vraisemblablement plus anciennes.

2) Les griffes de l'aval raccordées au marigot. Elles se forment sur des matériaux colluviaux fins recouvrant les sables blancs. Elles s'individualisent dans des dépressions concaves qui correspondent à des drains peu profonds perpendiculaires au marigot.

Puisqu'elles correspondent à un type de milieu peu perméable recevant les eaux de ruissellement d'un vaste impluvium, elles résultent d'une érosion linéaire superficielle. Il faut préciser néanmoins que la forme de l'impluvium obéit à un déterminisme plus profond. L'existence d'un drain à forte pente (5%), perpendiculaire au marigot, favorise les processus d'érosion linéaire interne (éluviation latérale le long du drain et induit très probablement un affaissement localisé du relief. Cet affaissement, accentué par le ruissellement superficiel, aurait un déterminisme pédogénétique, lui même orienté par un déterminisme géologique (diaclases, fissures).

Des arguments pédologiques nombreux (Fritsch, Planchon et Boa, 1986) et topographiques viennent étayer cette hypothèse. Le développement de cette dépression est postérieur à la formation du versant aval. La capture d'une ravine par cette dépression (figure 9) démontre en effet cette modification du relief. Plusieurs auteurs (Humbel, 1964; Savigear, 1960) ont déjà attiré l'attention sur le rôle, souvent déterminant pour la morphogenèse en milieu tropical, des processus pédogénétiques, et particulièrement de l'éluviation latérale, ou soutirage (Boulet, 1975; Leprun, 1979; Fritsch, 1984; Poss et Rossi, 1984). Remarquons aussi que ces dépressions, lorsqu'elles buttent sur la rupture de pente provoque des effondrements et même une reculée de la cuirasse (figures 4 et 5). La plupart des escarpements du bassin seraient à attribuer à la sape opérée par les sources à ce niveau. Un tel phénomène, qui est très probablement responsable de la formation du "cirque" en tête de marigot, a maintes fois été décrit dans le milieu tropical humide (Rougerie, 1960; Sautter, 1969).

3) Enfin, le troisième groupe d'incisions se caractérise essentiellement par la traversée de la ligne de rupture de pente. Celle-ci est très probablement à l'origine de leur formation (conjonction d'une forte pente et d'une faible infiltrabilité de la cuirasse subaffleurante). Cette rupture de pente peut résulter d'actions combinées: non seulement de l'induration, mais aussi du soutirage qui s'exerce à l'aval. Le ruissellement superficiel accentuerait l'affaissement induit par cette éluviation latérale. Les incisions liées à la rupture de

pente correspondraient à des processus anciens.

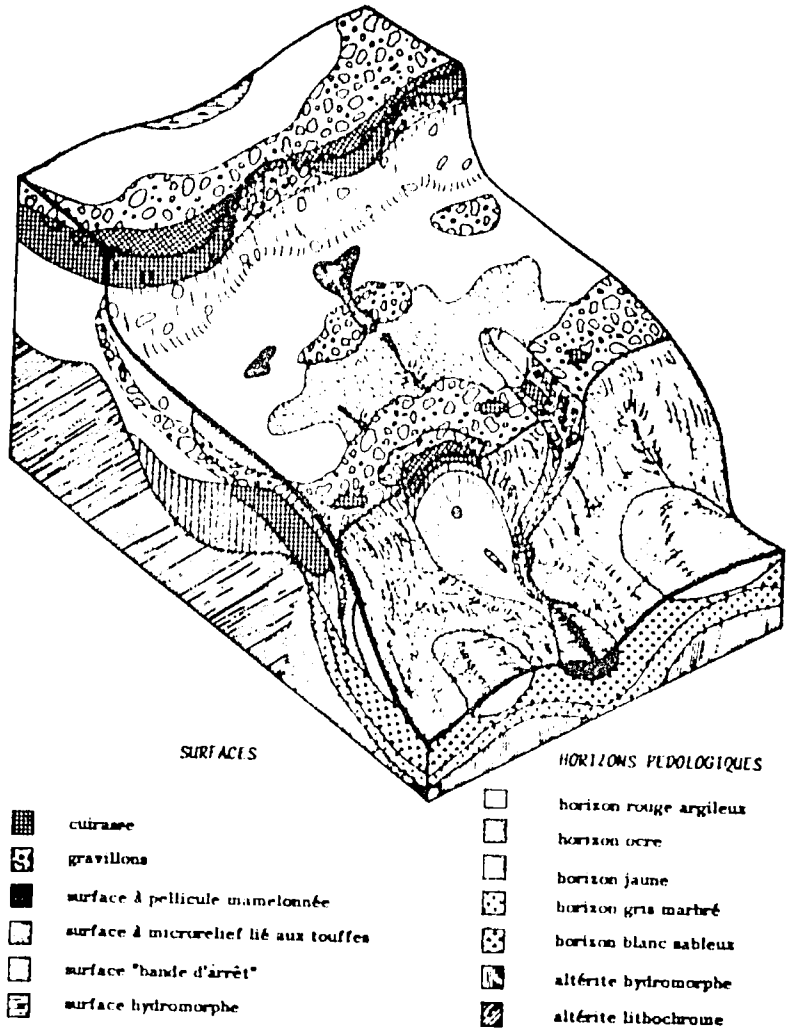


Figure 5. Schéma de distribution des sols, des surfaces et des différentes formes d'érosion linéaire sur le versant

CONCLUSION

Au terme de ce rapide exposé, il est possible de dégager deux conclusions.

Tout d'abord, nos différentes observations ont montré, à plusieurs reprises, que des organisations de la couverture végétale, de la surface des sols, et des différentes formes d'érosion pouvaient correspondre à un déterminisme pédologique et géologique. De telles

relations sont fréquentes dans le milieu tropical humide, surtout lorsque le substrat présente une hétérogénéité pétrographique ou plus simplement topographique. L'importance, dans un tel milieu, des phénomènes d'altération, et de dissolution, favorise les processus d'érosion interne qui, combinés avec l'érosion superficielle, contribue fortement à la formation du modelé.

Ces mécanismes, essentiellement géochimiques, déjà décrits en Côte d'Ivoire pour les plateaux cuirassés (bowés) et les plateaux sur sables tertiaires, semblent également fréquents à l'aval de versants de la zone ferrallitique. Connus par les géomorphologues sous le terme de phénomènes pseudokarstiques, ils semblent encore sous-estimés.

Le dernier point concerne l'utilisation possible de telles recherches. Nous avons vu qu'elles permettent d'établir des relations entre substrat, couvertures pédologiques et végétales.

Mais les concordances de limites sont peu fréquentes, du fait des différences de dynamiques dans le temps, et dans l'espace. Parmi les diverses composantes d'"états de surface", c'est la topographie qui permet le mieux, dans cette zone, de différencier les grands systèmes de sols. La cartographie morpho-pédologique (ou pour être plus exact, pédomorphologique, en raison du déterminisme pédogénétique) se trouve donc justifiée et ce type d'étude détaillée permet ensuite des extensions régionales sans grand risque d'erreur.

BIBLIOGRAPHIE

ALBERGEL, J., RIBSTEIN, P. et VALENTIN, C. 1985. L'infiltration : quels facteurs explicatifs? Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluies au Burkina Faso. Journées Hydrologiques de Montpellier. Colloques et Séminaires, ORSTOM, 24p. (à paraître).

BOULET, R. 1978. Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta : équilibres dynamiques et bioclimats. Mém. ORSTOM, n° 85. 272p.

CAMARA, M. et BOA, D. 1984. Résultats de l'enquête en milieu paysan à Booro-Borotou. ORSTOM, Abidjan. 21p., multigrs.

CHEVALLIER, P. et SAKLY, F. 1985. Etude du rapport pluie-débit sous pluie simulée sur un petit bassin de savane humide (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). ORSTOM, Paris. 30p. + annexes, multigrs.

CHEVALLIER, P., ETIENNE, J., JANEAU, J.L., LAPETITE, J.M. et MAHIEUX, A. 1985. Bassin versant représentatif de Booro-Borotou. Caractéristiques physiques et équipement hydropluviométrique. ORSTOM, Abidjan. 22p., 4 tbls., multigrs.

COLLINET, J. et VALENTIN, C. 1985. Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. *In* : Challenges in African Hydrology and Water Resources. IAHS Publ., 144:451-461. 6 tbls., 3 figs., 16 refs.

DESCOINGS, B. 1975. Les types morphologiques et biomorphologiques des espèces graminoïdes dans les formations herbeuses tropicales. Naturalia monspeliensia, sér. Bot., 25:23-25. 2 planches, 12 réfs.

DUBREUIL, P. et VUILLAUME, G. 1975. Influence du milieu physico-climatique sur l'écoulement de petits bassins intertropicaux. IAHS Publ., 117:205-215. 3 figs., 2 réfs.

FRITSCH, E. 1984. Les transformations d'une couverture ferrallitique en Guyane Française. Thèse 3ème cycle, Paris. 190p.

FRITSCH, E., PLANCHON, O. et BOA, D. 1986. Les transformations d'un paysage cuirassé au nord-ouest de la Côte d'Ivoire sur formations gneisso-migmatitiques. *In* : Séminaire régional sur les latérites. Coll. Colloques et Séminaires, ORSTOM. 12p., 11 figs. (à paraître).

HUMBEL, F.X. 1969. Etude de quelques dépressions circulaires à la surface d'un plateau sédimentaire de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 2 (4):27-42, 4 figs., 11 réfs.

LEPRUN, J.C. 1977. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale seche. Genèse-Transformations-Dégradation. Mém. BRGM, n° 58. Orléans. 222p.

LEVEQUE, A. 1982. Quelques aspects de la structure des sols ferrallitiques en saison humide. Implication agronomique concernant le cotonnier dans le nord de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, Abidjan. 38p., multigrs.

POESEN, J. 1985. Surface sealing on loose sediments : the role of texture, slope and position of stones in the top layer. *In* : Proc. of the Int. Symp. Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting, Ghent, Belgium, ISSS. (à paraître).

POSS, R. et VALENTIN, C. 1983. Structure et fonctionnement d'un système eau-sol-végétation. Une toposéquence ferrallitique de savane (Katiola, Côte d'Ivoire). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 20 (4):341-360. 12 tbls., 8 figs., 22 réfs.

POSS, R. et ROSSI, G. 1985. Systèmes de versants et évolution morphopédologique au Nord Togo. 28p., 1 tbl., 10 figs., 4 photos. (soumis pour publication dans Zeitschrift für Geomorphologie.)

ROUGERIE, G. 1960. Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. Mém. IFAN, Dakar. 542p.

SAUTTER, G. 1969. Essai sur les formes d'érosion en "cirques" dans la région de Brazzaville (République du Congo). Mém. et Doc. n° 9, nouvelle sér., Service de Doc. et Carte Géogr. 170p., 51 figs., 15 pls.

SAVIGEAR, R.A.G. 1960. Slopes and hills in West Africa. Zeitschrift für Geomorphologie, Sup. n° 1, pp.156-171, 11 réfs.

VALENTIN, C. et MAHOP, F. 1983. Organisations superficielles et reconnaissance pédologique. Esquisse à 1/50.000e du bassin du Kuo à Digouera-Ouest de la Haute-Volta - 6850 ha. ORSTOM, Abidjan. 25p., 5 tbls., 2 figs., 1 carte h.t., 22 réfs., multigrs.

YORO, G. 1986. Communication au séminaire régional sur les latérites. Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM. (à paraître).

ORGANIC MATTER·CHARACTERISTICS

HANS-WILHELM SCHARPENSEEL

Ordinariat für Bodenkunde of Hamburg University,
FRG Allende-Platz 2, D-2000 Hamburg 13,
FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

ABSTRACT

The impact of annual photosynthesis gains, organic matter decomposition, fossil carbon use, and tropical forest clearing on the carbon cycle are discussed. In the six epipedons of the Soil Taxonomy, the mean ratio of C:N:P:S in soil organic matter is about 140:10:1.3:1.3. The major pathways of humic acid formation are indicated. The problem of finding structural monomers for humic substances is discussed against backgrounds of chaos-, preorder-, quasi-order theory. The main properties of humic substances are explained; a humic acid/fulvic acid ratio is accepted as a merit parameter. N, P and S in soil organic matter, as well as the comparable superiority of amino acid-N, amino sugar-N, and of basic amino acid concentrations in (sub)tropical soils are presented. The problem of determining the age of organic matter and of profile dynamics in tropical soils is debated and illustrated by examples. The salient features of humic substances which are typical for soils of the humid tropics are enumerated and discussed.

RESUME

CARACTERISTIQUES DE LA MATIERE ORGANIQUE

L'effet des gains annuels de la photosynthèse, de la décomposition de matière organique, de l'utilisation du carbone des sources de carbone fossilisé et du carbone libéré en defrichant des forêt, sur

le cycle de carbone mondial sont discutés. Il se trouve que les six horizons "epipedon" de la "Soil Taxonomy" montrent un taux moyen de C:N:P:S dans la matière organique du sol de 140:10:1.3:1.3. Les quatre voies majeures de formation chimique des acides humiques sont indiquées. L'identification d'une structure des composés monomériques est discutée par rapport aux théories de chaos, préordre, quasiordre. Les attributs les plus distincts des matières humiques sont décrits. Le taux d'acide humique/acide fulvique est déclaré comme paradigme de mérite. L'azote, le phosphore et le soufre dans la matière organique du sol sont présentés, ainsi que les concentrations d'azote dans les acides aminés, dans les sucres aminés et dans les acides aminés humiques des sols (sub) tropicaux. Le problème de la datation du carbone organique est discuté, et la description de la dynamique du carbone dans les profils de sols tropicaux est justifiée. Les propriétés les plus typiques des matières humiques dans les sols tropicaux sont représentées et commentées.

INTRODUCTION, AND OVERVIEW OF RELATED ORGANIC MATTER PROPERTIES

Identifying humus/organic matter in lateritic soils means describing some features that are ubiquitous in most of the pedosphere and emphasizing those which are more specific to lateritic soils.

Carbon cycle

With regard to those of general relevance, one should remember that in the global carbon balance the (tropical) pedosphere is the most ambiguous compartment. The terrestrial photosynthetic product amounts to 115 x 10^9 t C/a, which under steady state will also be virtually decomposed from existing organic matter in exchange. This also releases in parallel 7.7 x 10^9 t S, by comparison to only 60 x 10^6 t of N, representing the total annual N-production in mineral fertilizers, and to only 30-40 x 10^6 t of N-production by legumes or other diazotrophic systems. In consideration of the C-turnover, we have to add 5.5 x 10^9 t C, which is released annually by the combustion of fossil C-sources, such as coal, oil and gas, and a further *ca.* 1.1 x 10^9 t C/a due to landclearing, especially slash-and-burn, which accounts in total for about a 1% addition to the atmospheric C pool of 700 x 10^9 t C. With an ozean mixing period of *ca.* 50 years, preindustrial CO_2 concentrations of about 0.027% in the atmosphere increased to 0.035%.

Photosynthesis

Photosynthetic organic matter production differs greatly in the interplanetary climate and vegetation zones (Table 1). Before the "green revolution" of the last 25 years abolished the cliché of the apparently inevitable low crop yields of the tropics, compared with the higher ones in the subtropics and the temperate climate, low

crop yields were explained by reference to the lower optimum temperature for photosynthesis and the higher as well as farther extending temperature optimum of respiration, leading to an unfavorable balance point between photosynthetic gains and respiratorial losses. Photosynthetic C_3 plants (the majority of cultivated plants) are formed with a $\Delta^{13}C$ of *ca.* -27‰, C_4 plants (e.g. sorghum, durra, corn, sugarcane) are enriched with ^{13}C to *ca.* - 10‰, CAM plants are about intermediate with $\Delta^{13}C$ of -17‰. Correspondingly, the C species of rock varnishes, reflecting the predominating photosynthetic milieu, indicate $\Delta^{13}C$ of -17 to -16‰ in more arid zones, of *ca.* -23‰ in humid zones (Dorn and De Nino, 1986).

Table 1. Annual production of organic matter in different climatic zones

Terrestrial production of organic carbon	ca 115 x 10^9 t/a
Organic carbon pool of the pedosphere	ca 2 x 10^{12} t
C-content of the biosphere	ca 800 x 10^9 t
C-content of the atmosphere	ca 700 x 10^9 t
Organic C-content of upper 1000m of the seas	ca 700 x 10^9 t
Organic matter produced in tropical rain forest/a	ca 11 t dry matter/ha wide margin
Organic matter produced in monsun forest /a	ca 6-8 t dry matter/ha
Organic matter produced in tree- and bush savanna/a	ca 3-4 t dry matter/ha
Organic matter produced in parklandscape and tall grass steppe /a	ca 2 t dry matter/ha
Organic matter produced in dry forest and short grass steppe /a	< 1 t dry matter/ha
Organic matter production in temperate and mediterranean climate woods /a	3-5 t dry matter/ha
Organic matter production in temperate fertilized crop and forage production (1 crop)	2-10 t dry matter / ha

Name, Age, Systematic

Analogous to the weathering of bedrock and mineral neoformation, vegetable matter is decomposed in the soil and altered by soil specific transformation processes into humic substances. Ethymologically, humus - believed since Aristotle till Thaer or Berzelius in the mid-19th century to be direct plant nutrient - and homo man ("homme") have the same rooting, since humus is both, the substance out of which life comes, and into which life redisperses again.

We may well ask how old humus can possibly be? Its maximum possible age is obviously linked to the evolution of plants (Figure 1). Humus, derived from Paleozoic seed ferns and Mesozoic gymnosperms/conifers could theoretically extend back to the carboniferous period; humus of angiosperms could date back to cretaceous time, when flowering plants emerged. In reality, most of the humus in surface near topsoils is holocene in origin. Humus in buried paleosols can be much older. Palynology, radiocarbon dating and isotope ratio studies can be helpful for soil dating.

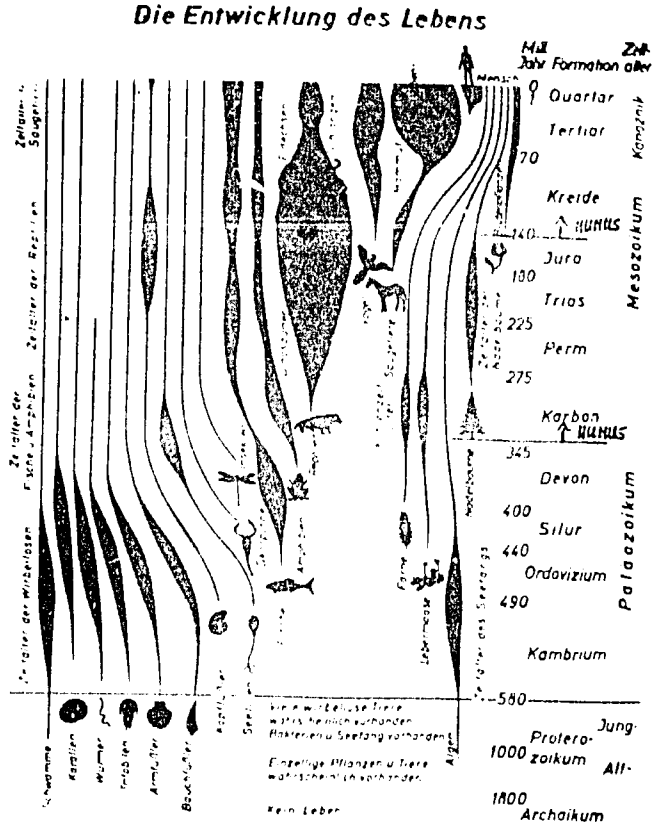


Figure 1. Earliest possible beginning of humus formation
B.P. = before present
$\Delta^{13}C$ = deviation from Chicago Belemnite Standard

(H. Craig) with $\Delta^{13}C = 0$

In the Soil Taxonomy (1975) 6 epipedons are distinguished for surface-near, and humus-bearing soil horizons: mollic, anthropic, umbric, histic, plaggen, ochric. The delineation between organic and mineral soil is 20% C, if the soil is never saturated with water for more than a few days. Otherwise it is at 12% C with 0% clay

gradually increasing to 18% C with 60% clay. This touches on the important problem of the interlink between clay and humus.

Stevenson (1982) evaluating C:N:P:S ratios from available results arrived at a gross average of 140:10:1.3:1.3. Although this is considered to be rather uniform, Neptune *et al.* (1975) found in 6 tropical soils in Brazil averages of C:N:P:S = 194:10:1.2:1.4, i.e. a much wider C/N,P,S ratio.

Humus Formation

The formation of humic substances depends on synchroneous processes of degradation and resynthesis, the decomposition of primary organic materials by exceedingly biotic substances, and at a lower degree on abiotic (protolytic) and photochemical mineralization, as well as the neoformation of secondary stable humic substances along the pathway of humification with partial feedback into mineralization, and partial stabilization by the formation of clay organic complexes. Stevenson (1982) distinguished four major chemical pathways for the synthesis of humic matter (Figure 2):

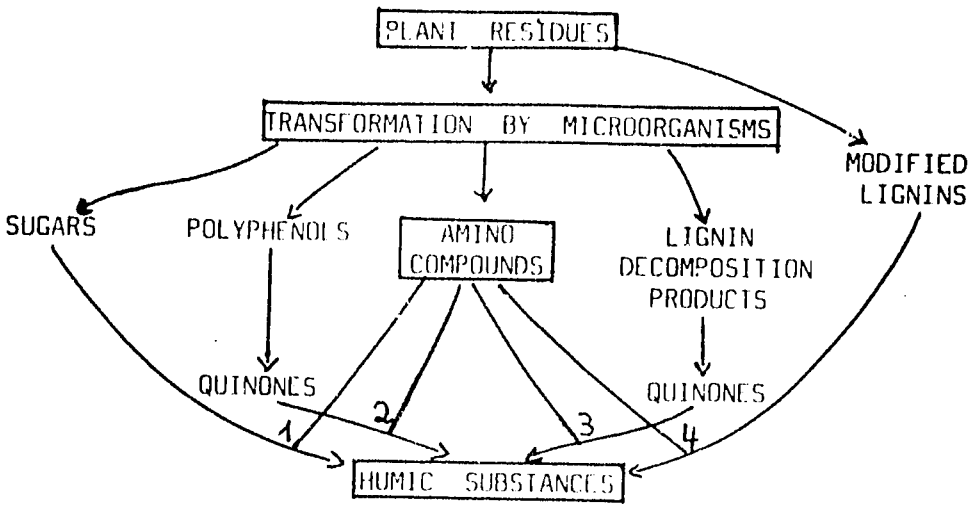


Figure 2. Four major pathways for production of humic substances (Stevenson, 1982)

Ad 1 Lignin as a major residue of microbial degradation is modified after demethoxylation and the formation of o-hydroxyphenols as well as of carboxyl groups from the oxidation of aliphatic side chains into humic and fulvic acids under previous condensation with nitrogenous compounds.

Ad 2 By microbial attack phenolic aldehydes and acids are liberated from lignin, which, after enzymatic conversion to quinones, polymerize as a result of the inclusion of amino compounds into the humic matter.

Ad 3 The polyphenols, which are later oxidized to quinones and humic substances, are microbial synthesis products from non-lignin C-sources.

Ad 4 Humic substances are formed from sugars and amino acids as by-products of microbial metabolism (along the lines of the Maillard reaction).

Humus Degradation

In the course of the last 20 years several specialists have tried, by various degradation methods (as indicated in Table 2), to decompose humic matter into its building stones, and to study by G.C.-M.S.-methods the chemical components of humic matter. Conversely, they have postulated monomeric, mostly aromatic, structure models of humic matter as the basic constituents of the humic polymers. However, little has been conclusively proven.

Table 2. Organic matter degradation methods

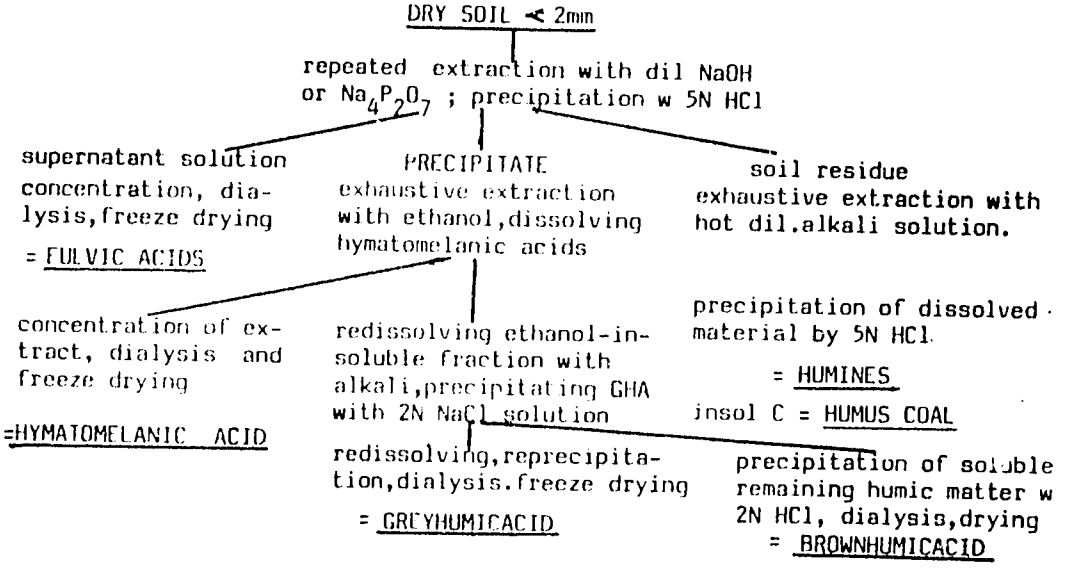
1 Hydrolytic degradation :	H_2SO_4 less damaging than HCl-hydrolysis		
2 Oxidative degradation :	with Alkali	4% $KMnO_4$ + 1% KOH	(Schnitzer)
		5% $KMnO_4$ + 2% Na_2CO_3	(Schnitzer)
		20% NaOH + 28% $CuSO_4$	(Steelink)
		2 M NaOH + 4% $KMnO_4$ + 5% H_2O_2	(Schnitzer)
	with Acid	10% HNO_3 + 30% HNO_3	(2 steps. Hayashi)
		2 N HNO_3 + 7.5N HNO_3 30-110 h,	Schnitzer)
		CH_3COOH + 30% H_2O_2	(40°C, Schnitzer)
3 Reductive degradation:		Na-amalgam hydrolysis	(Stevenson)
		Zn-dust distillation	"
		Phosphorous + HJ	"
		high pressur hydrogenization	"
4 Selective degradation :	with Na_2S ,high pH and 150°C		(Hayes)
5 Pyrolysis,f.ex laser-pyrolysis :	500-800°C; GC-MS-system (Bracewell-Haider)		

Humus Structure and Properties

New trends tend to adopt a sceptical approach to well-defined humic matter monomers. It seems more plausible that vegetal decomposition products in the process of humification pass through a phase of near chaos with a very low level of enthropy and a phase of pre-

order or quasi-order, liable to phase back into chaos, while remaining under a regime of mere chance coordinations. Direct measurements of thermodynamic enthropy in a low grade of order system appears to be difficult. Instead, enthropy - enthropy-related measurement of specific heat has been proposed by Ziechmann (1985). Malcolm (1985), summarizing the salient features of humic acids (isolated from soils as well as from stream or ground waters), makes a clear distinction between them. Soil humus substances are described as having a higher molecular weight, a greater ^{14}C-age, higher aromaticity and color intensity per C-atom, and finally higher polysaccharide contents than aquatic humic substances. All humic substances, no matter which environment they come from, show a high complexity of molecular structure, abundance of acidic- ester- and phenolic functional groups, and generally have the ability to fluoresce and to form metal-organic complexes. Malcolm's claim regarding the predominance of their aliphatic character is contradicted by the classical concept that humic substances being mainly polyquinonic. The final results are still pending. While humic acids predominate in soil humic substances, fulvic acids constitute > 80% in aqueous humic matter, and appear to be quite similar in structure and chemical behaviour in all parts of the world. However, soil fulvic acids vary with the soil type, the vegetation, and the extraction method, just as soil humic acids do. Fulvic acids contain large amounts of polysaccharide constituents, partly degraded or microbially synthesized, which are less stable than the aromatic fraction, and the HA/FA ratio is accepted as a meaningful soil parameter. A common simple method of fractionation for soil organic matter is indicated in Table 3.

Table 3. Humus fractionation and analytical separation



Forms of Nitrogen

Since in unfertilized soils N stems overwelmingly from soil organic matter, and even if N-fertilizer is added, its amount is minor compared to the organic N compartment (of between 150 kg in arid soils and > 5000 kg in Mollisols), the chemical associations of N in the organic matter are important. Table 4 indicates the approximate percentages of the various N-forms. Compared to organic matter in the unfractioned soil, humic acids are lower in NH_3-N, and hydrolyzable unknown N (HUN); conversely they are higher in amino acid- and acid-insoluble N. Fulvic acids are high in amino acid- and NH_3N, but low in acid insoluble N (Stevenson, 1982). Histosols are especially high in amino acid N, more so in mesic than in humic peats, which again have more N in the acid insoluble fraction (Sowden *et al.*, 1978).

Table 4. Nitrogen distribution in soils from different climatic zones (Sowden and others, 1977)

NITROGEN DISTRIBUTION IN SOILS FROM DIFFERENT CLIMATIC ZONES
(Sowden and others, 1977)

Climatic Zone and Number of Soils	Tot. N %	Forms of Nitrogen in %				
		Acid Insoluble	NH_3	Amino Acid	Amino Sugar	H U N
Arctic (6)	0.02-0.16	ca 13.9	ca 32.0	ca 33.1	ca 4.5	ca [illegible] 5
Cool temperate (82)	0.02-1.06	ca 13.5	ca 27.5	ca 35.9	ca 5.3	ca 17.8
Subtropical (6)	0.03-0.30	ca 15.8	ca 18.0	ca 41.7	ca 7.4	ca 17.1
Tropical (10)	0.24-1.61	ca 11.1	ca 24.0	ca 40.7	ca 6.7	ca 17.6

Phosphorous and Sulfur

P and S in soil organic matter amount to *ca.* 13% of the N-concentration, roughly 1% of the organic C. While P concentration in the eartherust and lithofacies of the pedosphere is *ca.* 0.05%, 20-60% of the soil phosphorous is in the soil organic matter, particularly in nucleic acids, phosphorylated sugars and inosithexaphosphate= phytin. S is in the host of sulfur containing amino acids, such as cysteic acid, cysteine, homocystine, methionine, methionine-sulfon, methioninesulfoxide, cysteine-sulfuric and sulfuric acid, taurine, allantoine, etc., besides being in inorganic sources, such as gypsum ($CaSO_4 \times 2H_2O$), pyrite and marcasite (FeS_2), mackinavite, greigite, hydrotrolite (FeS), and jarosite ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$). Due to the

increasing use of S-free N-fertilizer, such as urea ($CO(NH_2)_2$), sulfur is starting to become deficient, especially in the humid tropics.

Decomposition *vs.* Complexation

Unless soil organic matter finds chemical or physical protection, as a metal- or clay- or clay-metal-organic complex, it will be subjected to biotic-zymogenic, abiotic-protolytic or photo-chemical decomposition.

Figure 3 indicates the coprecipitation of labelled humic acids by montmorillonite in the presence of different metal cations, where the 3-valenced cations are stronger than the 2-valenced cations, and these in turn are stronger than the monovalenced cations (Theng and Scharpenseel, 1975).

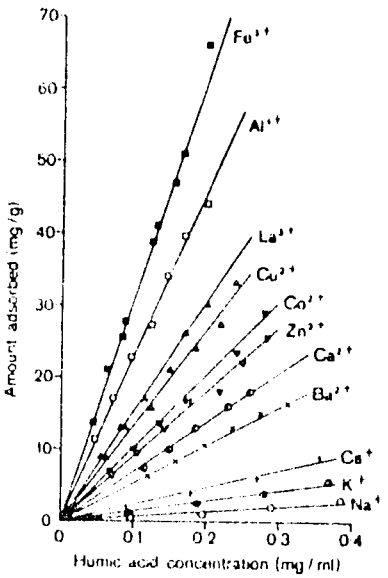


Figure 3. Isotherms for the adsorption of humic acid by montmorillonite saturated with different cations at pH 7.0 and 25°C. (From Theng and Scharpenseel).

Figure 4 shows the ratio of biotic: abiotic: biotic+photochemical: abiotic+photochemical rates of decomposition to be *ca.* 100:70:45:20 (Scharpenseel *et al.*, 1984). Organic matter decomposition in relation to time has been studied during the initial, fast, quasi exponential phase by scrutinizing the decomposition of uniformly ^{14}C-labelled plant substances in the soil. Jenkinson (1965) as well as Oberländer and Roth (1968) found about 20% C left in the soil after 4 years of decomposition in a temperate climate, whereas Jenkinson (1977) and Sauerbeck and Gonzales (1977) reported that the decomposition proceeded *ca.* 4 x as fast in the humid tropics of Nigeria and Costa Rica; finally, Martin and others (1984) found that 12% C was left over after one year in submerged rice soils. In this latter condition, a splitting factor 2:1 became apparent for the evolving gasses CH_4/CO_2.

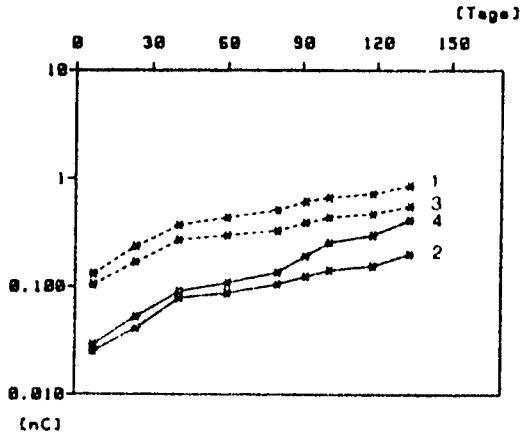


Figure 4. Integrating curves of decomposition rates of ^{14}C-fulvic acids in AH samples of an Agrudalf (250 g soil + 1g fulvic acid + 58 ml water: 1-biotic, 2-sterilized, 3-biotic plus UV radiation, 4-sterilized plus UV radiation)

Profile Dynamics/Turbations

Organic matter decomposition in the subsequent steady state phase can be evaluated by natural radiocarbon measurements (^{14}C-dating), whereby good organic matter conservation, but also the quick decomposition of regularly-sequenced young organic matter inputs, are reflected by high ^{14}C-ages. Conversely, both the low conservation potential for old carbon, and the blocked decomposition of young plant substances produce low radiocarbon ages.

Figure 5 consists of 400 Vertisol ^{14}C-dates from ten different countries, and gives age *vs.* depth regression lines for the different areas of origin. Steep regression curves mean poor pedoturbation, good conservation of old humus, and fast decomposition of recent C-species and vice versa. ^{13}C profile curves (Figure 6) prove the existence of pedoturbation by impoverishment in ^{13}C in the upper profile part due to the C-3 plant cotton, following enrichment down to the maximum depth of cracks due to penetration of durra - C-4 carbon, again followed by impoverishment towards C-3 - C below the cracking zone (Scharpenseel *et al.*, 1986).

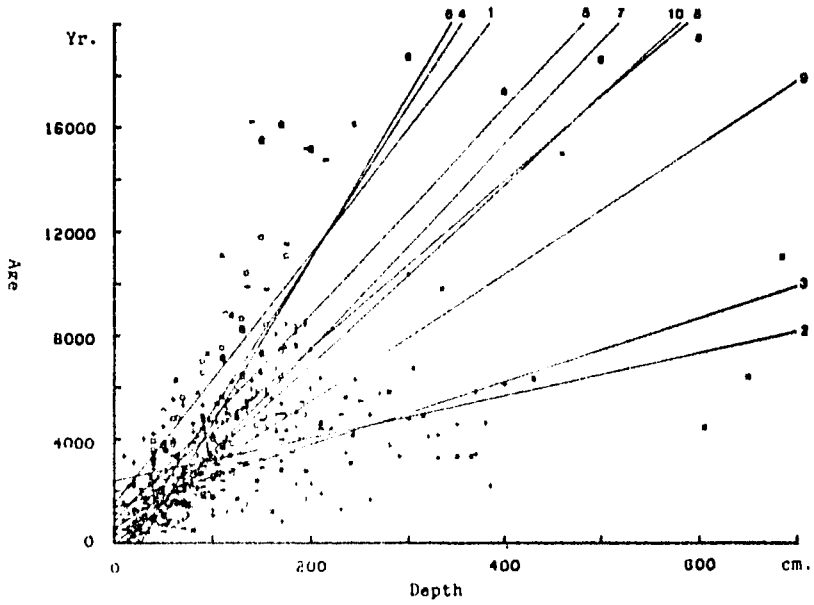


Figure 5. Age *vs.* depth Vertisols of different countries.

Signatures:

- o FED. REP. GERMANY (1)
- + SUDAN (2)
- * TUNISIA (3)
- x ARGENTINA (4)
- e ISRAEL (5)
- c BULGARIA (6)
- - ITALY (7)
- s SPAIN (8)
- ^ PORTUGAL (9)
- > AUSTRALIA (10)

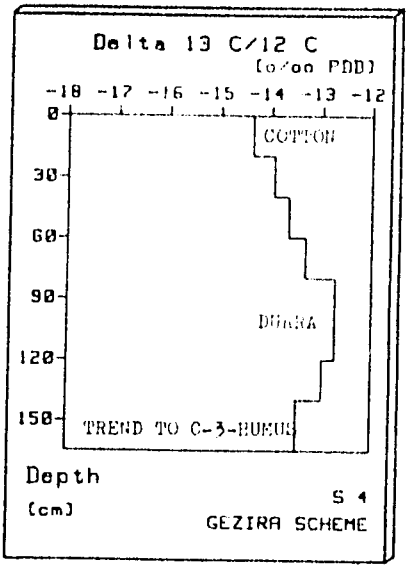


Figure 6. ^{13}C-curve of Vertisol profile, Sudan

Bioturbation in Mollisols does not produce homogeneity in the age of carbon species throughout the profile, but older C representation increases with depth (Figure 7).

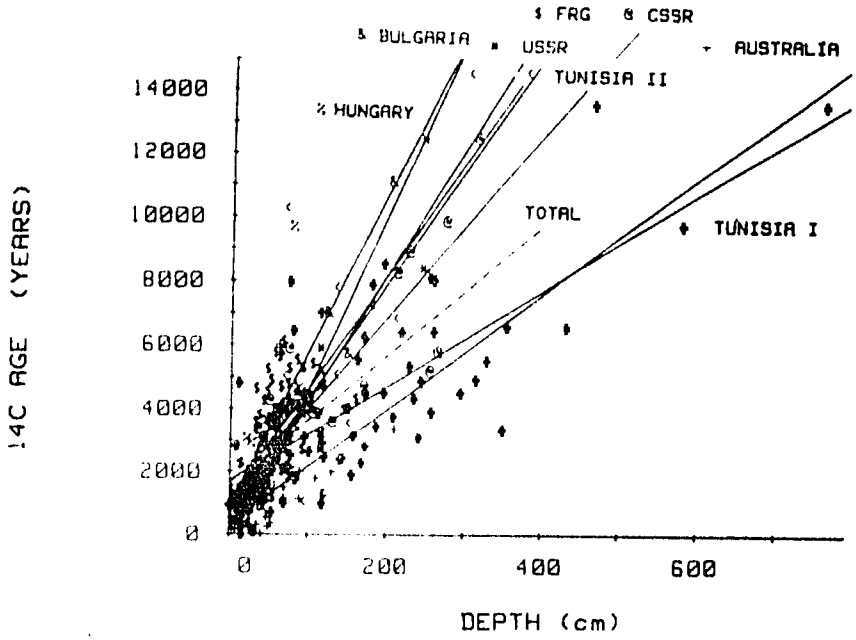


Figure 7. Age *vs.* depth in Mollisols of 8 different countries

^{14}C dates of earthworms of different layers indicate that the worm body-C is very recent (bomb-carbon), and worm feces are layed down mainly in the top layer of the epipidon, except for some in the maximum depth of earthworm escape tracks (Figure 8) (Scharpenseel *et al.*, 1986).

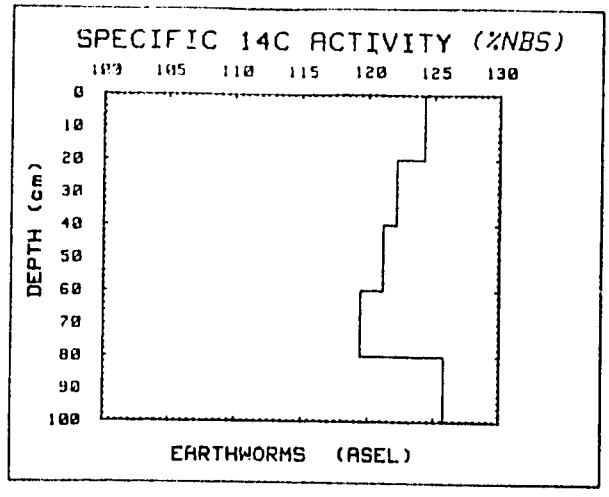


Figure 8. C-14 activity of earthworms in Mollisol

Humus forms, trophy

Humus forms in soils are numerous in detail. However, in the terrestrial milieu mull, moder and mor dominate, in the same way that -moder and -mor predominate in a semiterrestrial environment. Schroeder (Table 5) tried to assess the organic matter content of topsoils in % t/ha down to 1 m depth. The C/N-ratio of soil organic matter is used as an index for decay, biological activity, and richness in nutrients. From a forest soil assessment (e.g. Forstliche Standortaufnahme, 1966) the following categories can be distinguished:

mull with good aggregation	C/N <13	= eutroph
mull with poorer structure	C/N 13-18	eutroph to mesotroph
moder (better quality)	C/N 18-23	= mesotroph
moder (lower quality)	C/N 23-27	= meso- to oligotroph
transition moder to mor	C/N 27-33	= oligotroph
mor	C/N >33	= dystroph.

Table 5. Examples of humus forms and organic matter contents of soils of the humid temperate zone (Schroeder, 1984)

EXAMPLES OF HUMUS FORMS AND ORGANIC MATTER CONTENTS OF SOILS OF THE HUMID TEMPERATE ZONE (SCHROEDER,1984)

Vegetation or Use	Form of Humus	Organic Matter Content of top-soil %	Quantity of OM to 1 m depth t / ha
Deciduous forest	Moder	4	200
Conifers	Mor	6	240
Grassland	Mull	7	250
Arable land	Mull	2	160

Typic properties of humic matter in the tropics

Humic substances of humid tropical soils have some peculiar features, which in part distinguish them from the humic substances of boreal, temperate or arid tropical regions:

1. Humus of the humid tropics is mostly of the mull or moder type.
2. Humus of the tropics, be it in smectitic Vertisols or in oxic or LAC soils is mostly difficult to extract due to its high polymer nature and metal-(clay)-organic complexation.
3. Humus acts in some problem tropical soils as a powerful reducing agent, and notably in soils with Fe-toxicity, ferrolysis, or acid sulfate.
4. Clay organic complexes are important. Giles (1960), studying the adsorption isotherms of humic substances by clay minerals, distinguished between S, L, C and H types of isotherm shape.

The S type occurs when the solid has high affinity for the solvent, the H type when this is unusually high, the L type has a common shape to suit the Langmuir and Freundlich equation, the linear C type isotherms occur when enough new adsorption sites become available while the solute is more and more adsorbed.

5. While Mollisols, Alfisols, Ultisols and Inceptisols need organic matter badly for good structure formation and aggregation, organic matter seems less important in this regard for Oxisols at least, in which hydrous oxides play a predominant role. Among the interaction methods, Stevenson (1982) considers ligand exchange to be the most important, when exchange sites are occupied by Fe and Al ions, as is generally the case in humid tropical soils. Intercalation of organic matter in the interlattice spaces of the clay minerals is most improbable in the kaolinitic environment. For lateritic red earth with *ca.* 1.7% C, about 97.8% of the total carbon of the soil is incorporated in clay organic complexes (Greenland, 1971; Theng, 1979).
6. Contrary to earlier indifference towards soil organic matter in oxidic soils of the tropics studies of soils with variable charge indicate that in oxidic soils the soil pH is often below the ZPNC (zero point of net charge) of the mineralic compartments such as Fe- and Al-oxides and kaolinitic clay, which means that the soils for these mineral fractions can only act as anion exchangers. The humic substances alone have a ZPNC which is deep enough to remain below the soil-pH, and therefore act as cation exchangers. Thus, humic substances can be the only fraction with cation exchanging properties at the level of the soil pH. This makes humic substances for such oxidic soils extremely important. Uehara (1982) suggests measuring ΔpH as an indicator, whether the soil is poor in CEC and bases and higher in AEC (ΔpH positive), or higher in CEC than AEC as is considered normal (ΔpH negative). ($\Delta pH = pH_{1NKCl} - pH_{H_2O}$).
7. Humic substances of the humid tropics are mostly higher in amino acid-N as well as in amino sugar-N compared to those originating from a temperate climate (Sowden, 1977; Sowden *et al.* , 1978) (Table 6). Furthermore, among the amino acids the basic ones are more strongly represented in the tropics and subtropics than in the temperate belt (Stevenson, 1982; Table 7).

Table 6. Distribution of amino sugars (Glucosamine and Galactosamine) in soils from different climatic zones (Sowden and others, 1978)

Climatic Zone and number of soils	% of Soil N						
	Amino Sugar - N		Glucosamine		Galactosamine		Glucosamine / Galactosamine
Arctic (6)	4.5	1.7	2.8	0.4	1.7	0.5	1.7
Cool temperature (82)	5.3	2.1	3.4	0.9	1.9	0.7	1.8
Subtropical (6)	7.4	2.1	5.0	1.5	2.4	0.7	2.1
Tropical (10)	6.7	2.1	3.9	0.8	2.8	0.5	1.4

Table 7. Pecentage of α-amino acid-N as acidic, Neutral, and basic compounds for soils of different climatic zones (Stevenson, 1982)

Zone + number	Distribution of α- Amino Acid - N (%)		
	Acid Compounds	Neutral Compounds	Basic Compounds
Temperate (7)	12.6 - 25.0	66.6 - 76.2	8.4 - 9.8
Semitropical (5)	0.8 - 10.9	61.2 - 70.8	10.3 - 35.5
Tropical (5)	1.2 - 6.4	65.0 - 85.6	8.0 - 29.1

8. The maximum age of organic matter in oxidic soils relates to the three main phases of laterite formation which, according to Valeton (1983), are concentrated in upper Cambrian to upper Permian in the paleozoic, further from Jurassic to old Tertiary, parallel with the splitting up and migration of the Gondwana continent. With new main drainage systems developing, most of the old land surface fossilized under intensive chemical weathering. Generally the Paleocene-Eocene peneplains developed duricrust caps, i.e. cuirasses. The third, youngest period of laterization was probably in the latest climatic optimum of the Miozene, partly Pliocene, with probably less cuirasse formation than during the Paleocene-

Eocene laterization. Consequently, the age of humus in lateric soils and laterite sediments could in most cases be maximally Tertiary. But surface near humus formations, especially in epipedons, are normally of younger Pleistocene and Holocene carbon species. Searching for the residence times of different organic fractions in ferrallitic soils from Brasil, Lobo *et al.*, (1974) tried a simplified mathematical model including C-contents, $^{12}C/^{14}C$ ratios in soil organic matter and the atmosphere, and this was also used by Rapaire and Turenne (1976), for the study of the development of a spodic horizon in a Guayanese soil catena. Scharpenseel *et al.* (1971, 1984) subjected several Krasnozem (Eutrustox) profiles from Queensland (Australia) to layerwise radio-carbon dating. The carbon born of the near surface profiles had an AMRT (apparent mean residence time) of not beyond 4000 B.P.

9. Improvement of soil organic matter with regard to trophy and the C/N ratio is manageable, particularly by application of cropping systems including legumes, such as soybeans or Pueraria/Kudzu; in wet or even submerged soils by the use of Sesbania, Neptunium, or by blue-green algae carrying a diazotrophic system like Azolla anabaena.
10. While under ordinary steady-state conditions of decomposition and humification the occurrence of priming actions with acceleration of organic matter losses appears from all available results to be highly debatable, alternating wetting and drying of a bare soil with fresh, decomposable organic material, such as after forest clearing, can lead to considerable priming effects and organic matter destruction. Temporary mulch cover by leaves and twigs and fast legume cover - with Kudzu for example - are therefore highly desirable and imperative after forest clearing operations.

REFERENCES

DORN, R.J. and DE NIRO, M.J. 1985. Stable carbon isotope ratios of rock varnish organic matter, Science, 227:1472-1474.

FORSTLICHE STANDORTAUFNAHME. 1966. Bundesministerium für Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup, FRG.

GILES, C.H., MAC EWAN, T.H., S.N. and SMITH, D. 1960. J. Chem. Soc., 3973.

GREENLAND, D.J. 1971. Soil Sci., 111,34.

JENKINSON, D.S. 1965. Studies on the decomposition of plant material. I. Losses of carbon from ^{14}C-labeled ryegrass, incubated with soil in the field. J. Soil Sci., 16:104-115.

JENKINSON, D.S. and AYANABA, A. 1977. Decomposition of carbon-14 labelled plant material under tropical conditions. J. Soil Sci. Soc. Am., 41:912-915.

LOBO, P.F.S., FLEXOR, J.M., RAPAIRE, J.L. and SIEFFERMANN, G. 1974. Essai de détermination du temps de résidence des fractions humiques de deux sols ferrallitiques par l'utilisation du radiocarbone naturel et thermonucléaire. Cah., ORSTOM, sér. Pédol., 12/1:115-123.

MARTIN, U., NEUE, H.U., SCHARPENSEEL, H.W. und BECKER, P. 1983. Anaerobe Zersetzung von Reisstroh in einem gefluteten Reisboden auf den Philippinen. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 38:245-250.

MALCOLM, R.L. 1985. Variations between humic substances isolated from soils, stream waters and ground waters. Agronomy Abstracts, on behalf of IHSS. 1p.

NEPTUNE, A.M.L., TABATABAI, M.A. and HANWAY, J.J. 1975. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. pp.39,51.

OBERLANDER, H.E. and ROTH, K. 1968. Transformation of ^{14}C-labelled plant material in soils under field conditions. IAEA Organic Matter Symposium, pp.351-361.

RAPAIRE, J.L. and TURENNE, J.F. 1976. Mesure d'activité spécifique de fractions de matière organique appliquée à l'étude de l'évolution des sols de Guyane. IAEA Organic Matter Symposium, Brunswick, FRG, paper SM-221/69.

SAUERBECK, D. and GONZALEZ, M.A. 1977. Decomposition of carbon-14 labelled plant residues in various soils of the Federal Republic of Germany and Costa Rica. IAEA Organic Matter Symposium, Brunswick, FRG, pp.159-170.

SCHARPENSEEL, H.W. and PIETIG, F. 1971. Univ. of Bonn Natural Radiocarbon Measurements IV, Radiocarbon, 13:189-212.

SCHARPENSEEL, H.W., WURZER, M., FREYTAG, J. und NEUE, H.U. 1984. Biotisch und abiotisch gesteuerter Abbau von organischer Substanz im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde, 147,4:502-516.

SCHARPENSEEL, H.W., SCHIFFMANN, H. und HINTZE, B. 1984. Hamburg University Radiocarbon Dates III, Radiocarbon, 26,2:196-205.

SCHARPENSEEL, H.W., FREYTAG, J., und BECKER-HEIDMANN, P. 1986. C-14-Altersbestimmungen und C-Messungen an Vertisolen. Z. Pflanzenernähr., Bodenkunde. (in press).

SCHARPENSEEL, H.W., TSUTSUKI, K., BECKER-HEIDMANN, P. und FREYTAG, J. 1986. Untersuchungen zur Kohlenstoffdynamik und Bioturbation der mollisole. Z. Pflanzenernähr., Bodenkunde. (in press).

SCHROEDER, D. 1984. Soils - Facts and Concepts. Int. Potash Institute, Bern, p.44.

SOWDEN, F.J., CHEN, Y., and SCHNITZER, M. 1977. Geochim. Cosmochim. Acta. 41,1524. Sowden, F.J., Morita, H., Levesque, M. (1978): Can. J. Soil Sci., pp.58, 237.

STEVENSON, F.J. 1982. Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. Whiley-Interscience, N.Y.

THENG, B.K.G. and SCHARPENSEEL, H.W. 1975. Clay organic complexes between montmorillonite and C-14 labelled humic acid. Int. Clay Conf. Mexico City. Appl. Publ. Ltd. Wilmette, Illinois, USA, pp.649-651.

THENG, B.K.G. 1979. Formation and properties of clay polymer complexes. Hilger, London.

UEHARA, G. 1982. Soil clay minerals in tropical soils and soil fertility. Transact. 12th Int. Congr. Soil Sci., New Delhi, Comm. VII, 304.

VALETON, I. 1983. Klimaperioden lateritischer Verwitterung und ihr Abbild in den synchronen Sedimentationsräumen. Z. Dt. Geol. Ges., 134:413-452.

ZIECHMANN, W. 1986. Mitt. Dt. Bodenk. Ges. Band: Stand der Huminstoff-Forschung in der BRD, Oktober 1985 in Bayreuth. (in press).

UTILISATION DES RESIDUS AGRICOLES (PARCHE DE CAFE) EN VUE DE L'AMELIORATION DE LA FERTILITE DE CERTAINS SOLS FERRALLITIQUES EN CULTURE CONTINUE

A. MOUKAM
Chercheur, IRA/CNS Ekona, PMB 25 Buea, CAMEROUN

E.D. TCHATO
Chercheur, IRA, BP 221 Bangangté, CAMEROUN

RESUME

Des essais mis en place sur trois sites au Cameroun sur les sols ferrallitiques depuis 1982 ont montré que la parche de café en décomposition, en présence ou non de la fumure minérale (NPK), contribue très substantiellement à l'amélioration de la garniture cationique des sols, de la matière organique, et partant du rendement des plantes cultivées en continu.

En effet la parche de café étant particulièrement riche en potassium, un apport de 30 T/ha de parche en décomposition augmente le niveau du potassium échangeable du sol, favorisant un rapport cationique K/Ca et K/Mg élevé et une saturation en potassium élevée du complexe absorbant.

Sur le plan rendement, on note une augmentation du simple au triple après trois années de cultures (maïs, manioc). L'effet combiné de la parche et de la fumure minérale moyenne ne montre pas sur le plan du rendement de résultats supérieurs à ceux obtenus par la parche de café seule.

ABSTRACT

THE USE OF AGRONOMIC RESIDUES (COFFEE HULL)

TO IMPROVE THE FERTILITY OF SOME FERRALLITIC SOILS

UNDER CONTINUOUS CROPPING

Trials carried out on three sites in Cameroon on ferrallitic soils since 1982 have shown that coffee hull, whether combined or not with mineral fertilizers, contributed substantially to the improvement of the soil status, the soil organic matter, and hence to the crop yields in continuous cropping.

Coffee hull contains a high amount of potash. The application of about 30 t/ha of coffee hull increased the exchangeable K level of the soil, and this had a favourable effect on the K/Ca and K/Mg ratio and on the K saturation of the exchangeable complex.

Maize and cassava gave very high yields after three years of continuous cropping on coffee hull plots as compared to plots treated only with mineral fertilizers. Coffee hull combined with mineral fertilizers (NPK) at medium rates did not give higher yields than coffee hull alone - probably due to the high potassium content of this material.

INTRODUCTION

Les sols ferrallitiques couvrent des surfaces importantes en Afrique Centrale et constituent au Cameroun les sols dominants pour le développement agricole. Ils sont généralement reconnus comme des sols à fertilité très fragile. Dans le système traditionnel d'agriculture itinérante, la restitution de leur fertilité se fait au moyen de longue jachère (Ruthenberg, 1971; Nye *et al.*, 1960; Ahn, 1970). Actuellement, à cause de la pression démographique au Cameroun et de l'ouverture aux marchés des pays voisins, on parle de l'intensification de l'agriculture, ce qui signifie le maintien, voire l'augmentation, de la productivité de nos sols pour supporter de hauts rendements par unité de terre cultivée. L'intensification de l'agriculture fait appel, entre autres, à l'utilisation massive des intrants (inputs), tels engrais minéraux ou toutes autres formes d'amendements. Depuis la crise de l'énergie des années '70, le recyclage de la matière organique pour le maintien de la fertilité des sols a regagné de l'importance à cause des prix prohibitifs des engrais minéraux. Pour le moment beaucoup de sources de matière organique n'ont pas encore été étudiées dans notre région, et leurs valeurs fertilisantes, ainsi que leurs effets sur les propriétés physicochimiques des sols, sont encore peu connus (Wilson *et al.*, 1982).

C'est donc dans le souci de valoriser certaines de ces sources de matière organique relativement abondante au Cameroun que nous avons entrepris des essais avec la parche de café en 1982. Ce résidu agricole, pouvant s'estimer à près de 120.000 tonnes par an, est entassé derrière les usines de décorticage, et est souvent éliminé par le feu, alors qu'il constitue une source importante d'amendements des sols pauvres à moindre coût, et à la portée de nos paysans. Il leur suffit de le ramasser et de l'épandre dans leur champ.

MATERIEL ET METHODE

Dispositif expérimental au champ

C'est un dispositif en blocs, mais à nombre de traitements et répétitions variables suivant les sites, respectivement entre 6-8 et 3-5. La parcelle élémentaire moyenne mesure 24 m^2 (6 m x 4 m). La culture principale utilisée est le maïs. Elle est relayée par le manioc et l'arachide à Barombi-Kang et à Yoke.

La fumure minérale consiste en un apport de 80-90 kg N, 50-80 kg P_2O_5 et 80-100 kg K_2O par hectare suivant les sites.

La parche de café est apportée à des doses variant entre 10 et 40 T/ha suivant les sites et combinée ou non à la fumure NPK.

Les teneurs moyennes en éléments minéraux de la parche en décomposition se présentent comme suit: 1,95% N; 0,36% P_2O_5; 3,30% K_2O; 0,70% CaO; 0,17% MgO (Moukam, 1982).

Description du milieu physique

Des informations sur les sites, à savoir la classification des essais, le matériau d'origine, la végétation naturelle, l'érosion hydrique, le drainage, et la texture des sols sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 : Description du milieu physique

Site	Classification FAO et USDA	Matériau d'origine	Végétation naturelle	Erosion	Drainage	Texture
Barombi-Kang	Sols ferrallitiques jaunes, moyennement désaturés Typic Paleudult	Argile quaternaire	Forêt secondaire tropicale humide	en nappes	Bien	Argile
Nanganyte	Sols ferrallitiques rouges, fortement désaturés Ferrolic Paleudult	Matériel argileux à prédominance de sable neutreux	Savane herbeuse	en rigoles	Bien	Argile
Yoke	Sols ferrallitiques jaunes moyennement désaturés Typic Paleudult	Sédiments marins sableux	Forêt secondaire tropicale de basse altitude	en nappes	Bien	Limono-argilo sableux

Caractéristiques climatologiques des sites

La répartition annuelle des pluies est montrée sur la figure 1. Les données moyennes sur la pluviométrie totale, les températures moyennes, maximales et minimales, l'humidité relative pendant les dix dernières années sont présentées sous forme condensée dans le tableau 2.

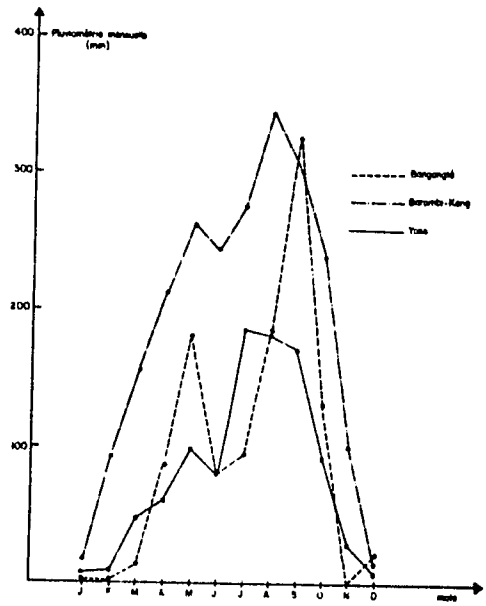


Figure 1 : Répartition annuelle des pluies à Bangangté, Barombi-Kang et Yoke

Tableau 2 : Données climatologiques des sites d'expérimentation

Location	Pluviométrie (mm)	Température (°C)			Humidité relative (%)
		Max.	Min.	Moy.	
Barombi-Kang	2,268	26.3	21.9	24.1	67
Bangangté	1,458	27.0	19.5	23.3	-
Yoke	970	32.8	19.5	26.2	80

Il est à noter que la pluviométrie annuelle en 1983 et en 1984 a été inférieure à cette moyenne des dix dernières années.

Caractéristiques physico-chimiques des sites (et méthodes analytiques)

Le tableau 3 résume l'ensemble des caractéristiques physiques et chimiques des horizons de surface (0-20 cm) avant la mise en place des essais. En ce qui concerne les méthodes analytiques;

- la granulométrie a été faite par la méthode pipette après destruction de la matière organique à l'eau oxygénée et dispersion.

Tableau 3 : Caracteristiques physico-chimiques des horizons de surface des sols des sites (0-20 cm)

Site	D-a	Granulométrie			pH		C.O.1	C/N	CEC meq/100g	Bases échangeables (meq/100g)			Saturation de base	P Bray II (PPm)
		A	L	S	eau	Kcl				K	Ca	Mg		
B'Kang	-	76.1	2.9	21.0	5.5	4.9	1.89	7.6	17.28	0.17	4.41	2.01	38	5
Bangangté	-	69.6	13.5	16.9	5.6	4.9	2.1	11.1	20.16	0.19	3.78	0.85	24	8 •
Yoke	1.3	28.8	3.4	67.8	4.9	4.2	0.71	15.8	4.80	0.15	1.30	0.40	39	2

1. la granulométrie a été faite par la méthode pipette après destruction de la matière organique à l'eau oxygénée et dispersion à l'hexameta-phosphate de sodium.
2. le pH eau KCl a été réalisé dans un rapport 1:2,5 et 1:1 respectivement au potentiomètre.
3. le carbone organique extrait selon la méthode de Walkley-Black et dosé colorimétriquement au Technicon Auto-analyseur AA II.
4. l'azote total a été minéralisé au Block Tecator et dosé au Technicon Auto-analyseur AA II.
5. la capacité d'échange cationique a été obtenue par extraction à l'acétate d'ammonium neutre et déplacement de l'acétate par une solution normale de KCl. Les bases échangeables ont été dosées dans la première solution d'extraction à l'absorption atomique Perkin Elmer (Mg) et au photomètre à flamme Eppendorf (Ca, Na, K).
6. le phosphore disponible a été déterminé par la méthode Kurtz et Bray II.

RESULTATS ET DISCUSSION

Rendements culturaux

Ces rendements sont donnés par site dans les tableaux 4, 5 et 6 par type de culture pour les différents traitements agronomiques. Ces résultats sont représentés sous forme de courbes comme le montrent les figures 2 et 3.

Tableau 4 : Rendements du maïs, manioc et arachide à Yoke sous culture continue avec la parche de café (kg/ha)

	Maïs				Manioc	Arachide
Traitement	Première campagne 1983	1re & 2è campagne 1984	1ère campagne 1985	Moyenne	Campagne 1984	2è campagne
Témoin	2,956	2,333	2,792	2,694	20,185	339
10T/ha	3,580	2,826	3,633	3,346	32,407	395
20T/ha	3,543	3,347	4,083	3,658	39.630	466
30T/ha	3,500	3,556	4,667	3,937	37,685	550
NPK	3,417	2,674	3,133	3,075	25,833	394
10T/ha + NPK	4,336	3,409	4,475	4,072	31,019	446
20T/ha + NPK	3,904	3,285	4,692	3,960	32,500	514
30T/ha + NPK	4,000	3,326	4,158	3,828	37,407	478

Tableau 5 : Rendements du maïs, manioc et arachide à Barombi-Kang sous culture continue avec la parch de café (kg/ha)

	Maïs			Manioc			Arachide
Traitement	1984	1985	Moyenne	1983	1984	Moyenne	1985
Témoin	1,715	201	958	15,100	13,330	14,220	1,190
NPK	2,178	2,484	2,331	19,670	23,610	21,640	1,112
30T/ha	3,036	4,111	3,574	28,310	36,500	32,410	1,418
30T/ha + NPK	3,400	4,829	4,115	33,180	40,940	37,060	1,482

Tableau 6 : Rendement du maïs à Bangangté sous culture continue avec la parche à café (kg/ha)

Traitement	1982	1983	1984	Moyenne
Témoin	2,802	4,651	4,456	3,968
NPK	3,266	6,036	5,870	5,059
10T/ha + NPK	4,474	7,067	6,054	5,862
20T/ha + NPK	5,245	7,167	6,736	6,379
40T/ha + NPK	5,714	9,422	8,342	7,836

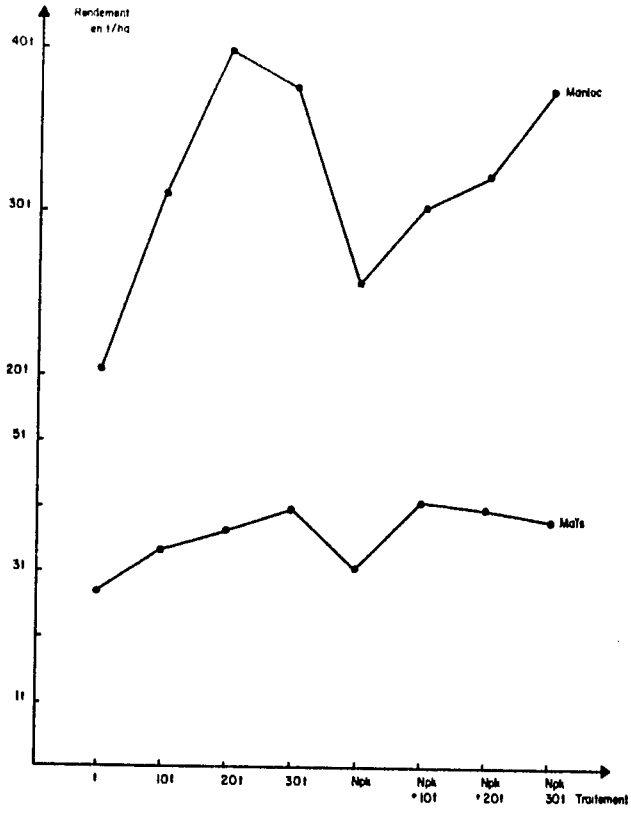


Figure 2.t Rendement moyen du maïs et manioc à yoke avec la parche de café

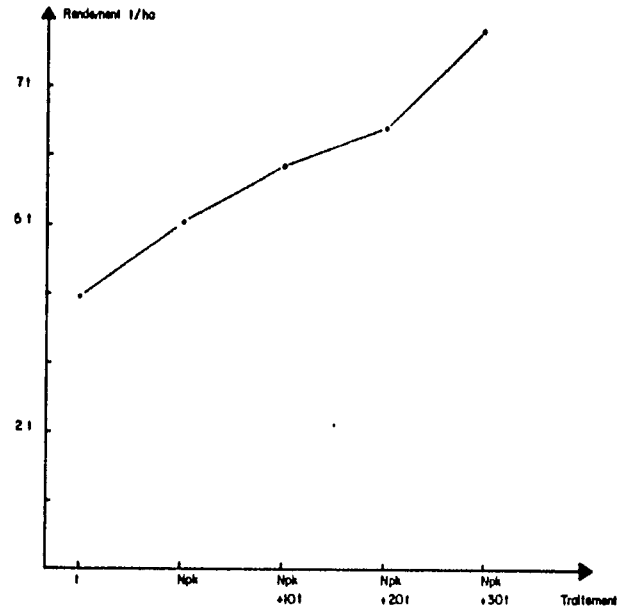


Figure 3 Rendement moyen du maïs à Bangangté avec la parche de café

D'une façon générale, il y a une rapide baisse de rendement à Barombi-Kang dans les parcelles témoins.

En général, les parcelles ayant reçu la parche de café seule se sont mieux comportés que les parcelles recevant uniquement les engrais minéraux pour les diverses cultures et dans les différents sites.

Pour le maïs

La combinaison de la parche de café avec les engrais minéraux a un effet bénéfique sur le rendement, supérieur à la parche seule. Ceci est en accord avec les travaux de plusieurs chercheurs sur l'utilisation de la matière organique pour l'amélioration de la fertilité des sols (Ambida, 1975; Guiraud *et al.*, 1980, Ganry. 1983; Okigbo, 1972, IITA, 1973).

Pour le manioc

L'apport de la parche seule a été très significatif sur le rendement et la combinaison parche-engrais minéraux n'a pas été plus bénéfique (figure 2).

Pour l'arachide

Surtout cultivée en deuxième campagne, on note généralement une

augmentation significative des rendements sur les parcelles ayant reçu la parche seule ou en combinaison avec les engrais NPK (tableaux 4 et 5). Par ailleurs on a noté que l'incidence de la rosette était moins sévère sur les parcelles pratiquées à la parche par rapport au témoin et à la parcelle ayant reçu les engrais minéraux uniquement. Ceci est dû probablement à l'action (inhibitrice) de la parche sur certains pathogènes (Hubert *et al.*, 1970; Patrick *et al.*, 1970).

Effets sur les caractéristiques physico-chimiques des sols

Le tableau 7 donne les résultats des analyses faites deux ans après la deuxième récolte de maïs à Bangangté. Il en ressort une influence favorable de la parche de café sur la matière organique, le pH, le phosphore assimilable et surtout le potassium échangeable. Ces résultats montrent que l'apport des déchets de récolte augmente la teneur en carbone organique et en éléments fertilisants (Jones, 1971; Jacks *et al.*, 1955; Moukam, 1982).

Tableau 7 : Effets de la parche sur les caracteristiques physico-chimiques des sols en fonction des traitements à Bangangté

Traitement	pH eau	Carbone org. (%)	Azote (%)	Phosphore (ppm)	K (meq/100g)	Sommes des bases	CEC	K / Ca + Mg	K / ECEC	K / CEC
Témoin	5.6	2.10	0.14	9	0.19	8.28	19.86	2.68	4.20	0.10
20T/ha	5.7	2.39	0.18	10	0.80	9.77	18.70	9.02	8.19	4.27
40T/ha	5.9	2.59	0.21	16	1.17	7.98	28.20	20.0	16.55	4.14

ECEC : Capacité d'échange cationique effective.

Pour les sites de Barombi-Kang et de Yoke, les échantillons ont été prélevés à la fin de la deuxième année de culture, mais l'ensemble des résultats d'analyse n'est pas encore disponible. Néanmoins à partir des rendements du maïs (tableau 5) et des symptômes visuels de déficience de potasse sur les pacelles témoins et à un moindre degré sur les parcelles NPK, il apparaît certain que le mode traditionnel de culture sans apport d'engrais ou d'autres amendements conduit à une dégradation rapide des sols par perte de la matière organique et des bases échangeables. On note dans le cas de Barombi-Kang qu'après la troisième année de culture continue de maïs associé au manioc, le rendement du maïs dans les parcelles témoins chute à 201 kg contre 2484 kg et 4111 kg par hectare dans les parcelles à NPK et à parche respectivement. La saturation de la potasse sur le complexe absorbant augmente de 0,5%, 1,4%, 3,8% des parcelles témoins, NPK, et parche respectivement, ce qui est favorable à un

bon équilibre cationique dans ces sols.

Par ailleurs on note le bon comportement des parcelles ayant reçu la parche pendant la période sèche en deuxième campagne. Ceci est probablement dû à l'effet "paillage" de la parche, jouant ainsi favorablement (entre autres) sur la rétention en eau du sol et l'abaissement de la température, (Agboola *et al.*, 1967; Jacks *et al.*, 1955).

CONCLUSION

La production vivrière au Cameroun repose sur les paysans pratiquant une agriculture itinérante sur des sols souvent très pauvres. L'utilisation des intrants est généralement nulle et seules les longues jachères permettent une restitution de la fertilité des sols cultivés. L'utilisation de la parche de café comme amendement semble être un moyen efficace de maintenir et d'améliorer les propriétés physico-chimiques de ces sols pauvres dans la zone caféière du Cameroun. Ce materiel de coût dérisoire représente un apport de matière organique et d'éléments fertilisants.

Sur le plan financier la parche de café permet de réduire les dépenses des paysans, ce qui est un gain considérable, surtout à l'heure actuelle où les prix des engrais ne cessent d'augmenter. En réduisant les dépenses dûes aux engrais minéraux, l'utilisation de la parche contribue à l'augmentation des rendements et par conséquent aux revenus des agriculteurs (Dossou, 1982).

Un survol rapide de la production caféière du Cameroun nous montre que chaque année, plus de 120.000 tonnes de parche sont produites, ce qui peut servir à amender, en culture continue intensive, environ 8.000 ha. Cet apport est modeste, mais non négligeable.

BIBLIOGRAPHIE

AGBOOLA, A. and UDOM, G.E. 1967. Effects of weeding and mulching on the response of late maize to fertilizer treatments. Niger. Agric. J.4., 69-72.

AHN, P.M. 1970. West African Soils. Oxford University Press, London.

AMBIKA, S. 1975. Use of organic materials and green manures as fertilizers in developing countries. FAO/SIDA Expert Consultation, Rome.

AYANABA, A. and OKIGBO, B.N. 1975. Paillage du sol pour améliorer la fertilité et accroître la productivité végétale. pp. 105-117. Bulletin Pédologique de la FAO, 47:19-22.

GANRY, F. 1983. Importance de la matière organique dans la productivité des sols et le maintien de la fertilité en zone tropicale sèche. Mbalmayo, 15-25 novembre, 1983.

GIRAUD, G., GANRY, F. et LIMOUS, G. 1980. Action de différents résidus de récolte en sol sableux tropical. Estimation au moyen de 15N. Agron. Trop. IRAT, n° 3, France.

HUBER, D.M. and WATSON, R.D. 1970. Effect of inorganic enrichment on soil-borne plant pathogens. Phytopathology, 60:22-26.

JACKS, G.V., BRIND, W.D. and SMITH, R. 1955. mulching. Technical Communication, n° 49. Comm. Agric. Bureaux, Farnham Royal, Bucks, England.

JONES, M.J. 1971. The maintenance of soil organic matter under continuous cropping at Samaru, Nigeria. J. Agr. Sci., 77:473-482.

MOUKAM, A. 1982. Coffee hull as soil amendment. Misc. Publ. n° 9, IRA/FAO Project, Ekona.

NYE, P.H. and GREENLAND, D.J. 1960. The soil under shifting cultivation. Comm. n° 51. Commonwealth Bureau of Soils. CAB. Bucks, England.

OKIGBO, B.N. 1972. Essais sur le maïs dans la plaine de Nsukka (Nigeria), III. Les effets de différentes sortes de mulch sur le rendement du maïs en climat tropical humide. Agron. Trop., 10:1037-1047.

PATRICK, Z.A. and TOUSSOUM, T.A. 1970. Plant residues and organic amendments in relation to biological control. *In* : Ecology of soil-borne plant pathogens. Prelude to biological control. University of California Press, Berkeley, pp.440-459.

RUTHENBERG, H. 1971. Farming systems in the tropics. Oxford University Press, London.

WILSON, G.F. and KANG, B.T. 1982. Utilisation des résidus et recyclage des éléments nutritifs dans les systèmes de cultures de tropiques humides de l'Afrique de l'Ouest. Bull. Pédo. de la FAO, 47:139-147.

EDAPHIC PARAMETERS FOR CHARACTERIZING IBSRAM'S ACID TROPICAL SOILS NETWORK SITES

PEDRO A. SANCHEZ

Professor of Soil Science and Coordinator of Tropical Soils Program, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7619, USA.

ABSTRACT

Assuming representative pedons of the proposed site have been described and sampled sufficiently to be classified at the family level of Soil Taxonomy, the following additional edaphic parameters should be measured by a generally acceptable method on the plowed layer, or top 20 cm, whichever is shallower: pH (H_2O), KCl - extractable Al, exchangeable Ca, Mg, K, and available P. All the above measurements, except for P, should also be conducted at 20-50 cm depths. Effective CEC and aluminum saturation can be calculated from the above parameters. Available Zn, Cu, Mn and Fe are desirable but not indispensable parameters.

Only two extractants are needed to measure the above parameters: 1N KCl (for Al, Ca, Mg) and the modified Olsen method (for K, P, Zn, Cu, Mn and Fe). If volcanic ash influence is suspected, the pH in 1N NaF is needed to identify high P fixation by allophane. A ratio of $\%Fe_2O_3/\%$ clay is needed in topsoils with hues of 7.5 YR or redder, a granular structure, and more than 35% clay. It is also recommended that measurements should be made of the gravel content and slope. Together with texture, organic matter, and the soil moisture regime, these parameters permit placement of the site in the Fertility Capability Classification System, which provides an interpretation of soil constraints for agronomic purposes.

RESUME

PARAMETRES EDAPHIQUES POUR LA CARACTERISATION

DES SITES DES SOLS TROPICAUX ACIDES DE L'IBSRAM

En supposant que les pédons du site d'étude ont été suffisamment échantillonnés et décrits pour pouvoir être classifiés à l'échelle de la famille dans le système "Soil Taxonomy", les paramètres édaphiques suivants doivent en plus être déterminés, par une méthode communément acceptable, au niveau de l'horizon cultural ou bien dans les 20 premiers centimètres (selon que l'horizon cultural est inférieur ou supérieur à 20 cm): pH (H_2O), pH (KCl), Al échangeable, Ca, Mg échangeables, et P assimilable. Ces mesures doivent être conduites dans les 20-50 cm, sauf dans le cas de P. La CEC effective et le taux de saturation en Al peuvent être déterminés à partir de ces paramètres. Sans être indispensables, les mesures du Zn, Cu, Mn et Fe disponibles sont néanmoins des données désirables.

Deux extractifs seulement sont nécessaires : 1N KCl (pour Al, Ca et Mg) et la solution pour la méthode d'Olsen modifiée (pour K, P, Zn, Cu, Mn et Fe). Si l'influence des cendres volcaniques est suspectée, le pH (1N FNa) est nécessaire pour identifier la fixation de P par les allophanes. Le rapport %Fe_2O_3/% argile est également nécessaire pour les horizons de surface dont le hue est supérieur ou égal à 7,5%, dont la structure est granulaire, et dont la teneur en argile est supérieure à 55%. Les mesures de la teneur en gravillons et la pente sont également recommandées. Associés à la texture, à la teneur en matière organique et au régime hydrique du sol, ces paramètres permettent de situer le sol dans le Système de Classification du Niveau de Fertilité.

INTRODUCTION

Edaphic parameters for site characterization include 1) those needed for placement in the Fertility Capability Classification (FCC), and 2) soil tests to assess initial soil fertility status. This paper reviews the most recent version of the FCC system (Sanchez, Couto and Buol, 1982) and the basic philosophy of soil testing successfully used in acid tropical soils of Latin America. (Fitts, 1972; Sanchez, 1976).

FERTILITY CAPABILITY CLASSIFICATION

The Fertility Capability Soil Classification System (FCC) was developed as an attempt to bridge the gap between the subdisciplines of soil classification and soil fertility (Buol *et al.*, 1975). As a technical soil classification system, it focuses on a specific use of natural soil classification systems, such as Soil Taxonomy,

or on the legend for the FAO-UNESCO Soil Maps of the World, which are essentially a record of soil properties. The direct interpretation of natural systems for specific uses is difficult because criteria relevant to a specific soil use are confused with other criteria, since a natural system attempts to organize all the features that can be measured in a soil (Cline, 1949). Natural soil classification systems place more emphasis on subsurface than on topsoil properties, because of their more permanent nature, whereas most soil management practices are largely limited to the plowed layer. In the southeastern United States, for example, Sopher and McCracken (1973) found that 70% of crop yield variability was due to soil properties that occurred in the plowed layer.

There are technical soil classification systems in use for several specific purposes, such as land use capability, suitability for septic tanks, woodland, wildlife, range sites, roads and airport construction (Bartelli, 1978). To our knowledge, FCC is the first technical soil classification system that groups soils according to their fertility constraints in a quantitative manner. This section describes the system and sets forth examples of interpretations that can be made of FCC units. The term "topsoil" refers to the plowed layer or the top 20 cm of the soil, whichever is shallower. The term "subsoil" encompasses the depth interval between the topsoil and 60 cm depth.

The system

The system consists of three categorical levels: type (topsoil texture), substrata type (subsoil texture), and 15 modifiers, including several changes from the original version (Buol *et al.*, 1975), making the following, in effect, the second approximation. The classes within each categorical level are defined below. Class designations from the three categorical levels are combined to form an FCC unit.

Type

The texture of the plowed layer or top 20 cm, whichever is shallower:

S = sandy topsoils : loamy sands and sands (by USDA definition);
L = loamy topsoils : <35% clay, but not loamy sand or sand;
C = clayey topsoils: >35% clay;
O = organic soils : >35% O.M. to a depth of 50 cm or more.

Substrata type (texture of subsoil)

Used only if there is a marked textural change from the surface, or if a hard root-restricting layer is encountered within 50 cm:

S = sandy subsoil : texture as in type;
L = loamy subsoil : texture as in type;

C = clayey subsoil: texture as in type;
R = rock or other hard root-restricting layer.

Modifiers

Where more than one criterion is listed for each modifier, only one needs to be met. The criterion listed first is the most desirable one and should be used if data are available. Subsequent criteria are presented for use where data are limited.

g = (gley): soil or mottles <2 chroma within 60 cm of the soil surface and below all A horizons, or soil saturated with water for more than 60 days in most years;

d = (dru): ustic, aridic or xeric soil moisture regimes (subsoil dry more than 90 cumulative days per year within 20-60 cm depth);

e = (low cation exchange capacity): applies only to plowed layer or surface 20 cm, whichever is shallower: CEC < 4 meq./100 g soil by bases + KCl-extractable Al (effective CEC), or CEC < 7 meq./100 g soil by cations at pH 7, or CEC <10 meq./100 g soil by cations + Al + H at pH 8.2;

a = (aluminum-toxicity): >60% Al-saturation of the effective CEC within 50 cm of the soil surface, or >67% acidity saturation of CEC by cations at pH 7 within 50 cm of the soil surface, or > 86% acidity saturation of CEC by cations at pH 8.2 within 50 cm of the soil surface, or pH <5.0 in 1:1H_2O within 50 cm, except in organic soils where the pH must be less than 4.7;

h = (acid): 10-60% Al-saturation of the effective CEC within 50 cm of soil surface, or pH in 1:1 H_2O between 5.0 and 6.0;

i = (high P-fixation by iron): % free Fe_2O_3/% clay > 0.15 and more than 35% clay, or hues of 7.5 YR or redder and granular structure. This modifier is used only in clay (C) types; it applies only to the plowed layer or surface 20 cm of the soil surface, whichever is shallower;

x = (X-ray amorphous): pH >10 in 1N NaF, or positive to field NaF test, or other indirect evidences of allophane dominance in the clay fraction;

v = (Vertisol): very sticky plastic clay: >35% clay and > 50% of 2:1 expanding clays, or severe topsoil shrinking and swelling;

k = (low K reserves): <10% weatherable minerals in silt and sand fraction within 50 cm of the soil surface, or exchangeable K < 0.20 meq./100 g, or K < 2% of bases; if bases < 10 meq./100 g;

b = (basic reaction): free $CaCO_3$ within 50 cm of soil surface (effervescence with HCl), or pH > 7.3;

s = (salinity): > 4 mmhos/cm of electrical conductivity of saturated extract at 25°C within 1 m of the soil surface;

n = (natric): > 15% Na-saturation of CEC within 50 cm of the soil surface;

c = (cat clay): pH in 1:1 H_2O is < 3.5 after drying and jarosite mottles with hues of 2.5Y or yellower and chromas 6 or more are present within 60 cm of the soil suface;

' = (gravel): a prime (') denotes 15-35% gravel or coarser (> 2mm) particles by volume to any type or substrata type texture (example: S'L = gravelly, sand over loamy; SL' = sandy over gravelly loam); two prime marks (") denote more than 35% gravel or coarser particles (> 2 mm) by volume in any type or substrata type (example: LC" = loamy over clayey skeletal; L'C" = gravelly loam over clayey skeletal);

% = (slope): where it is desirable to show slope with the FCC, the slope range percentage can be placed in parentheses after the last condition modifier (example: Sb (1-6%) = uniformly sandy soil, calcareous in reaction, 1-6% slope).

The soils are classified by determining whether the characteristic is present or not. Most of the quantitative limits are criteria present in Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975). The FCC unit then lists the type and substrata type (if present) in capital letters, and the modifiers in lower-case letters, the gravel modifier as a prime ('), and the slope, if desired, in parentheses. For example, many Oxisols belong to the FCC unit C a e i k (i.e. clayey, Al-toxic, low CEC, high P-fixation by iron, low K-reserves), many Vertisols to C d v b (i.e. clayey, dry season, vertic calcareous), whereas a young alluvial Entisol with no fertility limitations is simply classified as L (loamy soil). The absence of modifiers suggests no major fertility limitations, other than nitrogen deficiency.

Interpretation of FCC nomenclature

Thus far, only the structure of the FCC system and the criteria for placing soils into the system have been discussed. Classification is not an end in itself. Any classification must convey information in order to be useful. At this time it has not been feasible to test all possible interpretations from FCC units, but some of the applicable interpretations are outlined below. The statements used are brief and may not reflect the total range of desirable interpretations. They are written in non-technical terms for ease of understanding by users of soil survey on land-use reports. They attempt to call the user's attention to the major limitations that will be encountered within an FCC class.

Interpretation of types and substrata types

S : high rate of infiltration, low water-holding capacity.

L : medium infiltration rate, good water-holding capacity.

C : low infiltration rates, good water-holding capacity, potential high runoff if sloping, difficult to till; when i modifier is present, these (Ci) soils are easy to till, and

have high infiltration rates and low water-holding capacity.

O : artificial drainage is needed and subsidence will occur; possible micronutrient deficiencies; high herbicide rates usually required.

SC, LC, LR, SR: susceptible to severe soil degradation from erosion, exposing undesirable subsoil; high priority should be given to erosion control.

Interpretation of modifiers

When only one modifier is included in the FCC unit, the following limitations or management requirements apply to the soil. Interpretations may differ when two or more modifiers are present simultaneously or when textural types are different.

g : denitrification frequently occurs in anaerobic subsoil; tillage operations and certain crops may be adversely affected by excess rain unless drainage is improved by tilling or other drainage procedures; good soil moisture regime for rice production.

d : moisture is limiting during the dry season unless the soil is irrigated; planting date should take into account the flush of N at onset of rains; germination problems are often experienced if first rains are sporadic.

e : low ability to retain nutrients against leaching, mainly K, Ca and Mg; heavy applications of these nutrients and of N fertilizers should be split; potential danger of overliming.

a : plants sensitive to Al-toxicity will be affected unless lime is applied; extraction of soil water below depth of lime incorporation will be restricted; lime requirements are high unless an e modifier is also indicated; this modifier is desirable for rapid dissolution of phosphate rocks and for good latex flow in rubber (Chan, 1980); Mn-toxicity may occur on some of these soils.

h : low to medium soil acidity; requires liming for Al-sensitive crops, cotton and alfalfa.

i : high P-fixation capacity; requires high levels of P fertilizer or special P management practices; sources and method of P fertilizer application should be considered carefully; with C texture, these soils have granular soil structure.

x : high P-fixation capacity; amount and most convenient source of P to be determined; low organic N mineralization rates.

v : clayey texture topsoil with shrink and swell properties; tillage is difficult when too dry or too moist, but soils can be highly productive; P-deficiency common.

k : low ability to supply K; availability of K should be monitored and K fertilizers may be required frequently; potential K-Mg-Ca imbalances.

b : calcareous soils; rock phosphate and other non-water-soluble phosphates should be avoided; potential deficiency of certain

microrutrients, principally iron and zinc.

s : presence of soluble salts; requires drainage and special management for salt-sensitive crops or the use of salt-tolerant species and cultivars.

n : high levels of sodium; requires special soil management practices for alkaline soils, including use of gypsum amendments and drainage.

c : potential acid sulfate soil; drainage is not recommended without special practices: should be managed with plants tolerant to high water table level.

By using the individual guides for each type, substrata type, and modifiers, it is possible to prepare composite interpretation guidelines for all of the possible FCC units. More comprehensive interpretative statements are possible when interactions of two or more soil conditions are considered. No necessity is seen for a complete listing of all possible combinations because only a limited number of FCC units will be found in any area under consideration. At the local level, however, interpretation of the FCC units found in relation to the main crops and specific farming systems used would be a valuable extension tool, and local expertise is expected to supplement the following brief statements where experience warrants.

Sample interpretations of FCC units

L e h k : good water-holding capacity, medium infiltration capacity; low ability to retain nutrients for plants, mainly P, Ca, Mg; heavy applications of these nutrients and N fertilizers should be split; requires liming for Al-sensitive crops; potential danger of overliming because of low CEC; low ability to supply K; availability of K should be monitored and K-fertilizers may be required frequently for plants requiring high levels of K.

L g h : good water-holding capacity, medium infiltration capacity; limitations in drainage so that tillage operations and some crops may be adversely affected unless drainage is improved by tilling or other procedures; strong to medium acid soil; limi g required for some crops; excellent soil for flooded rice, as acidity will be eliminated by flooding.

L C g e a k : erosion or other removal of surface soil will expose undesirable clay-textured subsoil with limited drainage so that tillage operations and some crops may be adversely affected unless drainage is improved by tilling or other procedures; low ability to retain nutrients for plants, mainly K, Ca, Mg, and heavy applications of these nutrients and N fertilizer should be split; plants sensitive to Al-toxicity will be affected unless lime is deeply incorporated; however,

deep liming practices are difficult because of clay-textured substrate; due to low CEC in the surface, there is a danger of overliming; low ability to supply K; availability of K should be monitored and K fertilizers may be required frequently for plants requiring levels of K.

L : excellent soil with no major fertility constraints; N deficiency likely with intensive use.

Interpretation for wetland soils

The system has been modified and reinterpreted for hydromorphic soils with aquic moisture regimes devoted to rice production (Sanchez and Buol, 1985).

Interpretation of soil maps with FCC

Mapping units can be converted into FCC units provided sufficient information is available. This is easy to accomplish in detailed soil maps and has been done for the Yurimaguas region of the Peruvian Amazon and the Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados near Planaltina, Brazil, by W. Couto. In both cases, the maps show how soil differences within relatively small areas could affect the interpretation and extrapolation of the experimental results.

It has been possible to convert data for the dominant soils of the FAO Soil Maps of the World into FCC units based on the definitions of the mapping legend, including the information at the phase level, which is necessary to determine type and substrata type. The conversion is based on the typical profile data plus the definitions of the mapping units themselves, their phases and climate. Also, papers by Dudal (1976-1977) on plant nutrient relationships of FAO Soil Units and Soil Taxonomy equivalents were helpful in this interpretation. A sample of such conversions from the World Soil Map of Africa (FAO, 1977) is shown in Table 1. In some of these units it was impossible to determine FCC textural types as no textural notation was given (for example, mapping units Lg 21 and So 1-a). A conversion of the World Soil Map of South America (FAO, 1971) into FCC-units has been made (Sanchez *et al.*,1982).

FCC in microcomputers

A key to FCC classification with interpretations written in BASIC is at an advanced stage of development in the following languages: English, Spanish, Portuguese, French and Indonesian.

SOIL FERTILITY EVALUATION

Soil fertility evaluation is the process by which nutritional problems are diagnosed and fertilizer recommendations made. Several

approaches are presently in use in the tropics as well as in the temperate region. The most widespread ones are based on soil testing, plant analysis, missing element techniques, simple fertilizer trials, and frequently a combination of these. In the tropics, effective soil fertility evaluation systems exist in many Latin American countries and in India, but few in tropical Africa and Southeast Asia. The main reasons for limited development in these areas are related to the lack of widespread fertilizer use in Africa and the preponderance of flooded rice culture in Southeast Asia. The system developed by the International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program is summarized by Sanchez (1976).

A soil fertility evaluation program involves several parts. Soil fertility has to do principally with plant nutrient elements and soil conditions. Evaluation is concerned with levels of availability and nutrient balance in the soil, including appropriate methods for assessing these factors (soil tests, plant analysis, soil survey, climatic conditions). Improvement involves the addition to the soil of fertilizers, lime, manures, and other amendments in such quantities, at such times in the season, and in such ways as to provide the optimum nutritional environment for crop production. Thus a soil fertility evaluation and improvement program is site-specific and situation-specific. It is the judicious use of information for a specific field in which consideration is given to factors that will influence yield, the capability of the farmers, and the availability of capital.

According to Fitts (1972) such a program involves six interrelated facets:

1. sampling (soil and plant);
2. laboratory analyses (soil and plant);
3. correlation between analysis and yield response;
4. interpretation and recommendations;
5. putting information to use;
6. research.

The soil-testing laboratory is the backbone of the fertility evaluation program (Fitts, 1972). Unlike research laboratories, service laboratories must be geared to handle large numbers of samples rapidly and accurately. A complete system of semi-automated apparatus has been developed by the ISFEIP program especially for tropical laboratories. This system is summarized in the following paragraph.

Soil samples are measured volumetrically, eliminating the time-comsuming weighing process, and then placed in multiple-unit trays of 30, where the extracting and diluting solutions are added or transferred by specially designed diluter-dispensers. Other apparatus transfers the aliquots to spectrophotometers and pH-measuring units automatically. Shaking, stirring, and cleaning apparatus are also semi-automatic and capable of handling 30 units at a time. A single

technician can run 100 soil samples a day, measuring 10 determinations per sample. The apparatus is based on manual operation and uses a minimum of electrical power. Expensive electronic equipment such as pH meters, spectrophotometers, and atomic absorption apparatus is used only in the last phases. An additional advantage is that the same units can be used for plant tissue as for soil analysis. The bulk of the work is done with two extractants: the dilute double acid or modified Olsen extractants for available P, K, Na, Fe, Mn, Zn, and Cu, and the 1N KCl extraction for Al, Ca and Mg. Tests for N, B, S, and Mo require other methods that have not yet been adapted to the system. Soil pH measurements are also adapted to routine analysis.

An interesting result of this process is that the analytical accuracy increases with the size of the operation. Every tenth sample is a control that is monitored periodically by a control laboratory. On the basis of these records, the larger the laboratory's size, the greater is its accuracy (Fitts, 1972). Investigations on the total error variation of routine chemical analyses show that instrument and operator errors are small, whereas chemical treatment is the main source of error in soil-testing laboratories.

At present approximately 50 laboratories in Latin America are equipped with this system or modifications thereof. They analyze approximately 400,000 soil samples submitted by farmers per year. Each of the 50 laboratories analyzes more than 100 samples per day, and 12 analyze more than 500 samples a day. The operation of these laboratories has had a measurable impact on increasing average yields by increasing fertilizer use.

REFERENCES

BUOL, S.W., SANCHEZ, P.A., CATE, R.B., Jr. and GRANGER, M.A. 1975. Soil fertility capability classification: A technical soil classification system, for fertility management. *In* : E. Bornemisza and A. Alvarado (eds), Soil Management in Tropical America. N.C. State University, Raleigh, NC., pp.126-145. (Also in Spanish).

CLINE, M.G. 1949. Basic principles of soil classification. Soil Sci., 67:81-91.

FAO, UNESCO. 1977. Soil Map of the World, 6. Africa. UNESCO, Paris.

FITTS, J.W. 1972. Nécessité pour l'agriculture de disposer d'informations précis sur les besoins en matière de fertilité du sol. Phospore et Agr., 26(59):1-7.

SANCHEZ, P.A. 1976. Soil fertility evaluation. *In* : Properties and Management of Soil in the Tropics. Wiley, New York, pp.295-344.

SANCHEZ, P.A. and BUOL, S.W. 1985. Agronomic taxonomy for wetland soils. *In* : Wetland Soils, Characterization, Classification and Utilization. IRRI, Los Banos, Philippines, pp.207-228.

SANCHEZ, P.A., COUTO, W. and BUOL, S.W. 1982. The fertility capability soil classification system: Interpretation, applicability and modification. Geoderma, 27:283-309.

SOPHER, C.D. and McCRACKEN, R.J. 1973. Relationships between soil properties, management practices, and corn yields on South Atlantic Coastal Plain soils. Agron. J., 65:595-600.

MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF LATERITIC SOILS WITH SPECIAL REFERENCE TO SITE SELECTION FOR SOIL MANAGEMENT RESEARCH

A.S.R. JUO

International Institute of Tropical Agriculture (IITA), PMB 5320, Ibadan, NIGERIA

ABSTRACT

Lateritic soils in the humid tropics contain predominantly kaolinite and sesquioxides in the clay fraction and little or no weatherable minerals in the silt and sand fractions. The physical and chemical properties of these soils, such as bulk density, structural stability and phosphate retention capacity may differ considerably due to the amount and particle size of sesquioxides present in the soil. Cation and anion exchange capacities of lateritic soils are variable depending on the pH and electrolyte concentration of the soil solution.

Soil groupings based on mineralogical and chemical characteristics are proposed which may be used for site characterization for soil management experiments.

RESUME

CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES DES SOLS LATERITIQUES:

CAS PARTICULIER DU CHOIX DES SITES

POUR LA RECHERCHE SUR LA MISE EN VALEUR DES SOLS

Les sols latéritiques dans les régions tropicales humides ont une fraction argileuse essentiellement formée de kaolinite et de

sesquioxydes métalliques et des fractions limoneuses et sableuses constituées de minéraux peu ou pas altérables. Les propriétés physiques et chimiques de ces sols, telles que la densité apparente, la stabilité structurale, ou la capacité de rétention du phosphore peuvent être très différentes suivant la proportion et la granulométrie des sesquioxydes présents dans le sol. La capacité d'échange cationique et anionique des sols latéritiques varie en fonction du pH et de la concentration en électrolytes de la solution du sol.

Des groupements de sols basés sur les caractéristiques minéralogiques et chimiques sont proposés en vue de leur possible utilisation pour la caractérisation des expérimentations de mise en valeur des sols.

INTRODUCTION

Soil mineralogy is a key factor controlling the physical and chemical properties of the soil. An "ideal" soil is often described as a soil having a loamy texture, slightly acidic reaction, abundant weatherable minerals in the sand and silt fraction, and predominantly smectite (montmorillonite) in the clay fraction. Unfortunately this type of soil is rarely found in the humid tropics.

Soils in the humid tropics may be grouped into three descriptive groupings according to their agricultural productivity: (i) strongly weathered "lateritic" soils where tropical rainforest and "slash and burn" agriculture predominate; (ii) less weathered upland soils mainly derived from volcanic materials and limestones where plantation agriculture prevails; (iii) young alluvial (or "hydromorphic") soils in the wetlands where intensive rice cultivation is most suitable.

The lateritic soils are strongly weathered soils containing little or no weatherable minerals in the sand and silt fractions and predominantly kaolinite and sesquioxides in the clay fraction. They are mainly Oxisols, Ultisols and Alfisols with low activity clays according to Soil Taxonomy Classification; "sols ferralitiques" and "sols ferrugineux tropicaux" according to INRA/ORSTOM; and Ferralsols, Acrisols, and Ferric Luvisols according to FAO/UNESCO World Soil Legends. These soils comprise approximately 70% of the total land area in the humid tropical regions (Moormann and van Wambeke, 1978).

Lateritic soils are generally known for their low effective CEC, low available nutrient reserve, and low available water-holding capacity. There are, however, significant differences in other physical and chemical properties among the various types of lateritic soils, including micro-aggregation, bulk density, pH-dependent charge, and phosphate retention capacity. This paper attempts to describe the mineralogical and chemical properties of lateritic soils relevant to agricultural soil characterization.

SURFACE CHARGE PROPERTIES

Point of zero charge (PZC)

If one had to make a distinction between highly weathered soils in the humid tropics and the less weathered soils in the temperate regions, it would be in the dominance of kaolin clays and sesquioxides with regard to the former, and the dominance of 2:1 layer silicate clays (e.g. smectite and vermiculite) in the case of the latter. These two groups of minerals differ in their surface charge behaviour, and consequently their capacity to absorb cations and anions also differ. Smectite and vermiculite have a large specific surface area and a large permanent negative surface charge (hence a large CEC), and they swell and shrink upon wetting and drying. On the other hand, kaolinite has a relatively small specific surface area and little or no permanent negative charge (hence a small CEC), and it does not swell or shrink upon wetting or drying.

Fe and Al oxide and hydrous oxide minerals occurring in the clay fractions of many highly weathered soils have a large specific surface area. Because these minerals are amphoteric, they may possess a substantial amount of negative or positive surface charge, depending on the pH condition of the soil solution. The pH value where the net surface charge of an oxide mineral or a lateritic soil becomes zero is called the point of zero charge (PZC). The PZC and the pH-charge curves could be useful criteria for soil characterization.

Highly weathered soils may be regarded as a mixed systems kaolin, quartz, Fe and Al oxides, and hydrous oxides. Silica and kaolinite have PZC values below pH 4, whereas Fe and Al oxides (geothite, hematite and gibbsite) have PZC values above pH 7. Thus, the higher the degree of desilication of the soil, the higher the PZC value tends to be. Organic matter in the surface soil, however, tends to lower the PZC value when compared with the subsoil horizons within the same profile (Gallez *et al.*, 1976, 1977; Juo, 1980). The PZC value may be also useful in predicting the tendency of a soil to absorb cations or anions. For example, if a soil's pH value is below the PZC of the soil, then the soil bears net positive charges. One would expect the soil to absorb a substantial amount of nitrate, and this may cause a slower rate of nitrate leaching under high rainfall.

The specific surface area and the PZC of selected lateritic soils (Alfisols, Oxisols and Ultisols with low activity clays) are given in Table 1.

Table 1. Properties of some lateritic soils from Nigeria and Kenya

Horizon	pH H_2O	PZC	Clay %	Fe_2O_3 %	Bulk Density g/cm^3	Effective CEC meq/100g clay	BET-N_2 surface Area m^2/g clay
			Eutrustox derived from basalt, Kenya (Kt, Hm)#				
B2	6.1	3.5	58	8.9	1.04	11.0	102
			Tropohumult derived from basalt, Nigeria (Kt, Go, Hm)				
B2t	5.3	3.6	74	10.3	1.08	6.7	76
			Paleustalf derived from banded gneiss, Nigeria (Kt, Go, Hm)				
B2t	6.0	3.4	54	7.2	1.49	9.2	44
			Paleudult derived from sandstones, Nigeria (Kt, Go)				
B2t	4.8	3.3	35	4.6	1.45	6.4	39

Dominant minerals in clay fraction: Kt - kaolinite, Hm - hematite, Go - goethite

Cation exchange capacity (CEC)

For soils containing predominantly variable or pH-dependent charge minerals, the "CEC" becomes less meaningful in terms of soil characterization. This is because the CEC of such soils is subjected to the chemical conditions employed for its determination (i.e. the pH and electrolyte concentration of the extractant). For soils containing a large amount of oxide surfaces, the CEC values measured by the conventional methods of N NH_4OAc at pH 7.0, and by the $BaCl_2$-TEA method at pH 8.2 are often grossly over-estimated with reference to the actual CEC at field conditions, which normally have a much lower pH and a lower electrolyte concentration in the soil solution.

A more realistic approach to the surface charge measurement of lateritic soils or soil minerals would be to determine the net positive and negative electrical charge in a dilute, unbuffered salt solution (Schofield, 1949; Gallez *et al.*, 1976). An alternative method of CEC measurement is the sum of N NH_4OAc exchangeable "bases" (Ca, Mg, K, Na) and the N KCl-extractable acidity (Al + H). The CEC value determined in this way is called effective CEC (Coleman and Thomas, 1967; Kamprath, 1970). The effective CEC data are generally in closer agreement with the Schofield measurement of net electrical charge; hence it gives more realistic CEC values with reference

to actual field conditions.

The effective CEC value is a useful criterion for assessing the soil mineralogical properties of the soil. A comparison of the three CEC methods is given in Table 2. An effective CEC value of 14 meq/100g clay was proposed as the criterion to differentiate soils with low activity clays from those with high activity clays (Herbillon *et al.*, 1977).

Table 2. Cation exchange capacity of B-horizons of four lateritic soils as determined by three conventional methods (Juo *et al.*, 1976)

Soil (B Horizon)	pH (H_2O)	Clay %	Cation Exchange Capacity, meq/100g		
			Effective CEC	NH_4OAc (pH 7)	$BaCl_2$-TEA (pH 8.2)
Alfisol, kaolinitic	6.0	54	5.3	7.3	14.5
Ultisol, kaolinitic	4.5	34	2.5	5.2	7.0
Alfisol, oxidic	5.8	68	8.9	9.6	26.2
Oxisol, oxidic	5.3	56	4.9	10.9	17.6

PHOSPHATE SORPTION AND SOIL MINERALOGY

The phosphate sorption capacity of soils is also a useful criterion for soil characterization. This is because the phosphate sorption capacity of a soil generally reflects the mineralogical composition of the soil, and in particular the surface reactivity of Fe and Al oxides in the soil. Juo and Fox (1977) chose the 6-day P sorption isotherm as a standard technique for comparison. The quantity of P required to attain a standard P concentration of 0.2 ppm P in the solution equilibrated with the soil is called the standard P requirement (SPR). A summary of the SPR as related to soil type, parent material, and soil mineralogy is given in Table 3. These authors also showed that the phosphate sorption capacity was highly correlated with the external specific surface area (BET-N absorption), which reflects primarily the specific surface area of sesquioxides in the soils. Thus, the surface reactivity of Fe and Al oxides is a key factor controlling the P sorption capacity of soils (Juo and Fox, 1977; Juo, 1981).

Table 3: Standard P requirement (SPR) of soils with different mineralogy and parent materials (Juo and Fox, 1977)

SPR µg P/g soil	Soil	Parent Material	Dominant Mineralogy
0-100	Alfisols Mollisols Vertisols	Acidic and intermediate crystalline rocks	quartz, 2:1 and 1:1 layer silicates
100-500	Ultisols Oxisols	acidic and intermediate crystalline rocks	1:1 layer silicates low specific surface oxides
500-1000	Alfisols Ultisols Oxisols	basic ferro-magnesium rocks	high specific surface oxides
>1000	Andosols (Andepts)	Volcanic ash	allophane and desilicated amorphous materials

Moreover, the common concept that tropical soils have a high phosphate "fixation" capacity is probably much exaggerated. High P "fixing" soils are limited to those derived from volcanic ashes and ferromagnesian rocks (e.g. basalts), which contain large amounts of allophane and Fe and Al oxides with a large specific surface area.

MINERALOGICAL SOIL GROUPS

Technical soil groupings with mineralogical characteristics as the main criterion have been proposed (Juo, 1980). The primary objective of the proposed groupings was to provide agricultural researchers and planners in the tropical regions with a simple set of guidelines for soil evaluation, particularly where detailed soil survey information is not readily available.

The proposed system consists of three mineralogical soil groups and two chemical subgroups which are supplemented by a set of soil fertility condition modifiers that are similar to those used in the Fertility Capability Classification system (Sanchez *et al.*, 1982). The system deals mainly with upland "lateritic" soils dominated by

kaolinite and Fe and Al oxides. Vertisols, Alfisols, Ultisols and Inceptisols with mixed clay mineralogy and Andisols (Andepts) dominated by allophanes are excluded from the system.

The proposed mineralogical soil groups and their capabilities and limitations with respect to agricultural utilization can be described as follows: The quantitative criteria used are based on the limited information presently available. Many modifications and refinements can be introduced as more research data are generated in the future.

Mineralogical soil groups

Kaolinitic soils

1. Clay content greater than 35% in the diagnostic subsoil horizon.
2. Kaolin greater than 80% in the clay fraction, or an effective CEC of less than 14 meq /100 g clay.
3. Dithionite (DCB) Fe_2O_3 content of less than 12% in the clay fraction.
4. BET-N specific surface area of less than 55 m^2/g of clay, or P sorption at 0.2 ppm (SPR) less than 350 µ g/g of soil in the diagnostic subsoil horizon.

Oxidic soils

1. Clay content greater than 35% in the diagnostic subsoil horizon.
2. Dithionite (DCB) Fe_2O_3 greater than 12% in the clay fraction.
3. BET-N surface area greater than 55 m^2/g clay, or a SPR greater than 350 µg/g soil in the diagnostic subsoil horizon.

Siliceous soils

1. Clay content of less than 35% in the diagnostic subsoil horizon.
2. Durable silica mineral (i.e. quartz) greater than 90% in 0.02-2 mm fraction.

Chemical subgroups

1. Eutric or high "base" status soils: percentage exchangeable base saturation (PBS) greater than 70% calculated from the effective CEC for both the surface (0-50 cm) and the diagnostic subsoil horizons.

2. Dystric soils or low "base" status soils: PBS less than 70% for the surface (0-50 cm) and the diagnostic subsoil horizons.

Soil fertility condition modifiers

Physical (quantitative criteria to be determined)

- w - low available water holding capacity.
- r - high soil erosion hazard
- c - high soil compaction hazard.

Chemical

- k - low potassium reserve; exchangeable K in surface soil (0-50 cm) less than 0.2 meq/100 g.
- i - high phosphate fixation; P sorption at 0.2 ppm greater than 250 µg/g soil (0-50 cm).
- t - secondary and micronutrient deficiencies and imbalance.
- a - Al toxicity to most legume crops; N KCl exchangeable Al saturation greater than 35% (0-50 cm).
- m - manganese toxicity; pH(H_2O) less than 5.0 for soils derived from parent materials high in Mn-bearing minerals.
- * - potential soil toxicity and/or secondary and micro-nutrient deficiencies and imbalance due to continuous cultivation with moderate to high rates of conventional fertilization.

Thus the proposed soil groupings may be summarized as given in Table 4. It is also important to point out that there is a close relationship between the mineralogical soil groupings and soil parent materials. An approximate correlation is given in Table 5.

Table 4: A summary of technical soil evaluation system

Soils	Condition Modifiers	
	Physical	Chemical
Kaolinitic, Eutric	w, r, c	t*, (m*)
Kaolinitic, Dystric	w, r, c	t, k, a, (m)
Siliceous, Eutric	w, c	t*, k*, (m*)
Siliceous, Dystric	w, c	k, t, a, (m)
Oxidic, Eutric	w	i
Oxidic, Dystric	w	i, k, t, a

( ) for soils derived from parent rocks high in Mn-bearing minerals.

Table 5: Relationship between the mineralogical soil groupings and parent material

Soils	Parent Material
Oxidic	Ferromagnesian rocks (i.e. Basalts, Diabase, amphibolite, Trachyte, etc.)
	Fine grained, low-quartzose gneisses; Micaceous schists.
Kaolinitic	Granites Banded gneisses Clayey sediments Aeolian drift
Siliceous	Sandstones Quartzite Sandy sediments

CONCLUSION

Soil taxonomical classification systems provide the fundamental knowledge about soils. But for agronomic interpretations, they are often used in conjunction with a simple technical soil evaluation system. This is particularly so when a detailed soil classification and mapping at family and series levels are not available.

The proposed technical soil groupings based on mineralogical characteristics and fertility limitations may be a useful tool for site characterization for soil management research.

REFERENCES

MOORMANN, F.R. and VAN WAMBEKE, A. 1978. The soils of lowland rainy tropical climate. Proc. 11th ISSS Congress, vol. 2, pp.272-291.

GALLEZ, A., JUO, A.S.R. and HERBILLON, A.J. 1976. Surface and charge characteristics of selected soils in the humid tropics. Soil Sci. Soc. Am. J., 40:601-608.

GALLEZ, A., JUO, A.S.R. and HERBILLON, A.J. 1977. Characteristics of silica sorption and solubility as parameters to evaluate the surface properties of tropical soils. 1. The index of silica reactivity. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:1146-1150.

JUO, A.S.R. 1980. Mineralogical characteristics of Alfisols and Ultisols with variable charges. *In* : B.K.G. Theng (ed.), Soils with Variable Charge. New Zealand Soc. Soil Sci., Lower Hutt, N.Z. pp.69-86.

JUO, A.S.R. 1981. Chemical characteristics. *In* : D.J. Greenland (ed.) Characterization of Soils in the Humid Tropics. Clarendon Press, Oxford. pp.51-79.

HERBILLON, A.J., GALLEZ, A. and JUO, A.S.R. 1977. Characteristics of silica sorption and solubility in tropical soils. II. The index of silica saturation. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:1151-1154.

HERBILLON, A.J. 1980. Mineralogy of Oxisols and oxic materials. *In* B.K.G. Theng (ed.), Soils with Variable Charge. New Zealand. Soc. Soil Sci., Lower Hutt, N.Z., pp.109-123.

JUO, A.S.R. and FOX, R.L. 1977. Phosphate sorption capacity of some benchmark soils in West Africa. Soil Sci., 124:370-376.

SANCHEZ, P.A., COUTO, W. and BUOL, S.W. 1982. The fertility capability soil classification system: Interpretation, applicability and modification. Geoderma, 27:283-309.

CARACTERISATION DU PHOSPHORE

ROBERTINE V. RAHARINOSY

Directeur de la Planification et de la Coordination,
Minisere de la Recherche Scientifique et Technologique pour le Developpement,
B.P. 694 Antananarivo, MADAGASCAR.

RESUME

L'objectif de cette communication est de présenter les différentes méthodes chimiques et isotopiques de détermination du phosphore du sol et de la plante : phosphore total; phosphore organique, phosphore minéral, valeur Larsen, cinétiques de dilution isotopique; coéfficients d'utilisation des engrais, et les humophosphates liés au fer et à l'aluminium.

Sur un échantillon de sol ferrallitique fortement désaturé, ont été étudié l'enfouissement de différentes doses de fumier seul ou associé à NPK.

Les résultats présentés nous montrent que le fumier, après deux mois d'enfouissement, provoque un accroissement des formes extraites par NH_4F et une diminution de celles extraites par NaOH; cette diminution est symétrique à l'augmentation de phosphore soluble. L'analyse des cinétiques de dilution isotopique permet de voir les modifications du pouvoir fixateur du sol par les apports d'engrais et peut-être d'aborder l'étude du renouvellement du pool mobile des fractions moins mobiles. Les coefficients d'utilisation aussi bien au champ qu'en vase de végétation rendent compte de l'efficacité de l'engrais à divers stades de la culture.

ABSTRACT

THE CHARACTERIZATION OF PHOSPHORUS

The intention of this paper is to review the different chemical and isotopical methods for determining the phosphorus in the soil and in the plant - the total amount of phosphorus, the organic phosphorus, the mineral phosphorus, the Larsen value, the kinetics of isotopical dilution, the coefficients for the use of fertilizers, and the humo-phosphates associated with iron and aluminium.

A sample of highly desaturated ferrallitic soil was used to study the effects of applying varying amounts of manure either by itself or combined with NPK.

The results obtained show that after two months, manure produces an increase in the forms extracted by NH_4F and a decrease in those extracted by NaOH, and that this decrease is symmetrical to the increase in soluble phosphate. An analysis of the kinetics of isotopic dilution makes it possible to see the modifications in the fixation capability of the soil brought about by the addition of fertilizer, and perhaps to begin a study of how the mobile pool is renewed by studying the less mobile components. The coefficients of utilization, both in the field and in a growing bed, demonstrate the effectiveness of fertilizer at various stages of cultivation.

INTRODUCTION

Cette note résume la méthodologie particulière pour le dosage du phosphore et son application à différents traitements agronomiques, aussi bien au champ qu'en vases de végétation. L'étude porte sur les sols ferrallitiques des hauts-plateaux de Madagascar fortement et moyennement désaturés, issus de gneiss, migmatite, gabbros anciens, et basaltes.

Les sols ferrallitiques fortement désaturés sont caractérisés par des bases échangeables bien faibles : (1 mé/100 g de sol), par un degré de saturation très faible (< 20%) et par un pH très acide (< 5,5); et ceux qui sont moyennement désaturés sont caracterisés par des bases échangeables faibles (1 à 3 mé/100 g de sol), par un degré de saturation moyen (de 20 à 40%), et par un pH ⩾ 5,5.

La teneur en phosphore total est en moyenne de 1,[illegible] de P_2O_5 à 2% et celle du phosphore assimilable selon Olsen (modifié Dabin) n'est que de 0,03% à 0,05%.

Le calcium varie entre 0,1 et 0,4 mé/100 g de sol.

DYNAMIQUE DU PHOSPHORE

Le phosphore est un élément qui participe à des phénomènes cycliques. On peut expliquer le cycle du phosphore grace à différents mécanismes physico-chimiques et biologiques. Losqu'on apporte des engrais, une partie est dissoute dans la solution du sol, une autre fixée sur le complexe absorbant et peut-être précipités sous forme de phosphate, de calcium, de fer et d'aluminium. La plante ne peut utiliser que le phosphore sous forme minérale. Elle puise ces ions dans le pool des ions isotopiquement échangeables (Barbier, 1954). Le phosphore lié au calcium, au fer et à l'aluminium participe dans une certaine mesure à ce pool (Gachon 1972).

Cette alimentation de la plante en phosphore est étroitement liée à l'acidité du sol.

$$H_3PO_4 \longrightarrow H^+ + H_2PO_4^- \longrightarrow 2\,H^+ + H\,PO_4^{2-} \longrightarrow 3\,H^+ + PO_4^{3}$$

$$pK_1 = 2,1 \qquad pK_2 = 6,8 \qquad pK_3 = 12,3$$

$$H_2PO_4^- + PO_4^{3-} \longrightarrow 2\,HPO_4^{2-} \qquad \text{avec } pK = 4,8$$

Les ions phosphatés peuvent migrer vers les surfaces internes des feuillets des molécules d'argiles; on les trouve aussi associés à l'humus sous forme de composés mal définis dits humophosphates. La fixation des ions phosphates met en oeuvre des agents tels que complexe argile-humus, sesquioxydes, carbonates, humates calciques. Il peut y avoir dissolution après altération des minéraux du sol et aussi après association du fumier à la dolomie et aux engrais minéraux.

PHOSPHORE TOTAL ET PHOSPHORE ASSIMILABLE DU SOL

Les réserves totales du sol et ses formes

Le phosphore total nous indique les réserves du sol en cet élément; il se répartit en 2 groupes :

1. le phosphore minéral dissous dans la solution du sol : phosphate soluble dans l'eau et phosphate absorbé ou précipité sur les colloïdes minéraux du sol par l'intermédiaire des ions Al^{+++}, Fe^{+++} et Ca^{++} qui tapissent les surfaces extérieures des argiles, ou sous forme de minéraux amorphes ou cristallisés (gibbsite et goethite). Les formes minérales dites d'inclusion sont obtenues par la différence entre le phosphore total et toutes ses formes.

2. le phosphore organique (P.O.) se trouve principalement sous forme d'acides nucléiques, d'inositol phosphate (phytine), et de phospho-lipides.

Phosphore assimilable par la plante

Le phosphore assimilable est le phosphore facilement déplacable et utilisable par les plantes. Larsen (1949) fait l'hypothèse implicite dans tous ses écrits qu'il y a identité entre les formes prélevées par les recoltes et les ions phosphates subissant l'échange isotopique, ce qui revient à dire que les plantes puiseraient leur phosphore dans la fraction isotopiquement diluable (Fardeau, 1981).

Cette dernière peut-être extraite soit par les méthodes chimiques classiques, soit par la méthode isotopique en utilisant le phosphore radioactif $^{32}PO_4$.

METHODES D'ETUDES

On distingue deux sortes de méthodes : d'une part les méthodes chimiques, et d'autre part la méthode physique.

Techniques d'extraction du phosphore du sol (chimiques)

1. Le phosphore total est extrait par l'acide nitrique concentré bouillant ou par l'acide perchlorique, ou par l'attaque nitroperchlorique, ou après fusion alcaline à haute température qui dissout tout.

   Les résultats obtenus par fusion alcaline sont supérieurs aux chiffres correspondants par l'attaque par les acides. La différence est de l'ordre de 20% au profit des premiers.

2. Le phosphore organique est extrait selon la méthode ORSTOM, par l'acide sulfurique dilué et le fluorure d'ammonium. Le P.O. est obtenu par la différence entre les deux échantillons - l'un traité à l'eau oxygéné et l'autre non-traité. Selon la méthode Saunders et Williams (1955), la matière organique du sol est détruite par calcination au four à 550°C. Le phosphore organique est évalué par la différence entre le phosphore total et le phosphore minéral extraits par H_2SO_4.0,2 N.

3. Suivent la méthode de Hesse et Murray (1971) on effectue deux extraits différents par l'acide chlorhydrique concentré au bain-marie bouillant, d'une part sur un échantillon passé au four à 300°C avec un flux d'oxygène pendant une heure, et d'autre part sur un échantillon non-traité.

Parmi ces trois méthodes, la méthode de Hesse et Murray semble être la plus reproductible.

Techniques de fractionement des formes du phosphore

1. La méthode de Chang et Jackson (1957) est la plus utilisée

pour réaliser le fractionnement du phosphore minéral du sol. Le phosphore soluble est extrait par NH_4Cl 0,01 N et le P lié à l'aluminium (P.Al), par NH_4F 0,5 N pH 8,5, le phosphore lié au fer (P.Fe) par NaOH 0,1 N, et le phosphore lié au calium (P.Ca) par H_2SO_4 0,5 N.

Cette méthode appliquée à des phosphates bien cristallisés et peu solubles donne des résultats quantitatifs certains (Hanotiaux, 1966). La séparation en phosphate d'aluminium, phosphate de fer, et phosphate de calcium ne correspond cependant pas à des espèces minéralogiques ou chimiques définies, mais seulement à des formes de liaisons (Dabin 1974). Le phosphore d'inclusion est obtenu par la différence entre P total et (P soluble + P.Al + P.Fe + P.Ca + P.O.).

2. Le phosphore associé à l'humus sous forme de composés dits humophosphates : La méthode utilisée est différente de celle de Bruckert (1979) : on extrait les complexes phosphoriques solubles HClN et les complexes insolubles par NaOH 0,1 N. On dose le phosphore soluble et le phosphore lié à la matière organique après minéralisation de la matière organique.

Techniques de dosage du phos' . : assimilable

Le phosphore assimilable est dosé en utilisant différents extractifs :

1. L'acide citrique à 25 par Dyer (1894) a pH2
2. L'acide sulfurique 0,002 N par Truog (1930) à pH3
3. Bray (1945) n° 1 HCl 0,025 N + NH_4F 0,03 N 0 pH3
   n° 2 HCl 0,1 N + NH_4F 0,03 N à pH 1,5
4. Olsen (1954) $NaHCO_3$ 0,5 N à pH = 8,5
5. Amer (1955) utilisait la résine anionique Cl
6. Joret et Hebert (1955) ont utilisé l'extraction à froid par une solution d'oxalate d'ammonium neutre
7. Saunder (1956) extraction par la soude 0,1 N
8. Olsen modifié par Dabin (1967) par un mélange de bicarbonate de sodium et de fluorure d'ammonium tamponné à pH 8,5. (Cette méthode est celle utilisée dans nos laboratoires.)

Techniques isotopiques par le phosphore 32 (méthodes physiques)

1. Cinétiques de dilution isotopique de 1 à 100 mn : Tous les systèmes complexes sont constitués de compartiments imbriqués et interdépendants. Pendant longtemps les flux de substances qui interviennent entre ces compartiments n'ont pu être appréciés que par la détermination de leur contenu et des modifications qu'ils subissent du fait de traitements imposés, contrôlés mais perturbateurs. Il existe une situation d'une importance particulière que cette approche ne permet pas de décrire - celle des systemes en état stationnaire ("Fardeau

1981").

La technique des cinétiques de dilution isotopique nous permet de faire cette approche, et peut apporter à l'agronome des différences significatives au niveau des paramètres r_1/Ro, n et M_1 sur les traitements agronomiques. Elle consiste à mélanger 10 g de sol à 100 ml d'eau pendant une nuit. Dans cette suspension agitée, à 250 tours/mn par un barreau aimanté, on injecte (à l'instant t) 1 ml de solution de $^{32}PO_4$ sans entraîneur, contenant une radioactivité R_0 (comprise entre 0,1 et 1 MBq). Au moyen d'une seringue, on prélève 8 ml de suspension qui est immédiatement filtrée sur membranes à pores de 0,2 ou 0,01 µ. La filtration a lieu à 3, 10, 40, 100 mn.

L'équation empirique de l'évolution de la radioactivité dans un système sol-solution en état stationnaire est :

$\frac{r}{Ro} = f(t)$ Ro : la quantité de radioactivité introduite sans entraîneur dans la solution à t = o

r : la concentration de la radioactivité restante dans la solution au temps t.

Selon Edington (1965), la représentation de l'équation $\frac{r}{Ro}(t) = n \text{ Log } t + \text{Log } a$ est une droite

$$\frac{rt}{Ro} = \frac{r_1}{Ro} t^n$$

La valeur r_1/Ro nous permet d'apprécier le pouvoir de fixation du sol où n = le coefficient de diffusion

2. Valeur L : Selon Larsen, la méthode de dilution isotopique est la seule qui permet d'étudier les sols sans perturbations. Elle nous renseigne sur la quantité d'éléments mobiles. De plus, Fardeau et Jappe (1976) ont montré que c'est dans le "pool mobile" que les plantes prélèvent leur phosphore, ce qui permet d'identifier le "pool assimilable" et le "pool isotopiquement diluable". Ce phénomène rend compte des possililités de transfert existant entre le sol et la solution, ce que les méthodes chimiques ne permettent pas.

La valeur L consiste à introduire dans le sol un élément radioactif et à déterminer dans une récolte la radioactivité spécifique de la plante (RAS)

R/L = r/p = RAS est le rapport r = radioactivité contenue dans la plante

p = quantité totale du phosphore dans la plante

L'analyse de la RAS des coupes successives en fonction de l'intensité des prélèvements est probablement un moyen

direct d'examen du transfert du phosphore lié du sol vers le végétal ("Fardeau 1981).

3. Coefficient d'utilisation d'un engrais phosphaté :

Méthode directe - La méthode de marquage est celui de Fardeau *et al.* : on a utilisé le phosphate d'ammonium : à 100 ml d'une solution aqueuse de 100 g d'engrais, on a ajouté une quantité de $^{32}PO_4$. Le mélange est agité, et puis versé dans 1 litre d'acétone pour le maintenir sous agitation. Après une heure d'agitation, le précipité de phosphate insoluble dans l'acétone est filtré sous vide et séché à l'air.

Méthode indirecte - La méthode précédente est difficile, mais il est possible d'apporter des engrais non-marqués sur des sols dont on avait marqué le phosphore isotopiquement échangeable. Après avoir marqué un lot de sol, on le répartit en deux fractions. La première est directement mise en pot et puis en culture. A la seconde, on ajoute l'engrais à étudier, on met en pot et puis en culture.

Selon le protocole Larsen, à chaque coupe, on mesure le phosphore 31 et le phosphore 32. Le coefficient d'utilisation est conduit de la manière suivante :

$$\frac{r'}{\rho s} = \frac{rt}{\rho t} \qquad \rho s = \frac{r'}{rt} \times \rho t$$

rt et ρ t sont la radioactivité et le phosphore des plantes récoltées sur le sol témoin. r' et ρ' sont celles des plantes du sol amendé. R_1 est la radioactivité introduite par pot, et E est la quantité d'engrais. A la radioactivité r' est associée une quantité de phosphore P_s provenant du sol. PE est le phosphore de l'engrais dans la plante :

$$P' = PE + Ps \qquad PE = P' - Ps = P' - \frac{r'}{rt} \times Pt$$

La valeur du coefficient d'utilisation est :

$$\frac{PE}{E} = \frac{1}{E} \left[P' - \frac{r'}{rt} \times Pt \right]$$

QUELQUES RESULTATS

Analyse de sol selon Chang et Jackson, P. soluble, P-Al, P-Fe, P-Ca en g/g de sol des fractions.

Selon Olsen en g/g de sol;

Sol ferrallitique fortement désaturé après deux mois d'incubation.

Formes	P.Olsen	P_6	P-AL	P-Fe	P-Ca
Témoin	15	2,6	12	20	10
St de fumier	14	2,6	12	22	10
N P K	23	3,0	18	21	10
5 t de F + N P K	26	3,0	21	27	10
20 t de fumier	20	2,6	17	23	10
40 t de fumier	31	3,5	25	25	12
100 t de fumier	41	4,3	36	20	15

1. Cinétiques de dilution isotopique

Paramètres	$\frac{r_1}{Ro}$	n,	$M_1 - p$,	M_2	Q = p +M2
Témoin	0,03	0,49	0,07	0,20	0,27
N P K	0,035	0,50	0,06	0,08	0,14
5 t de F + N P K	0,045	0,52	0,12	0,37	0,49
20 t de fumier	0,066	0,46	0,31	0,66	0,97

2. Coefficients d'utilisation du phosphore issu du phosphate d'ammonium par le riz pluvial en %

2 traitements : 1 = 45 kg de P_2O_5
2 = 90 kg de P_2O_5

Stades / Traitements	1	2
Montaison		
parties aériennes	3,5	2,6
racines	1,6	0,7
Epiaison		
parties aériennes	5,2	5,2
Récolte		
graines	5,1	2,6
pailles	6,0	7,6

CONCLUSION

La quantité de phosphore extrait par des réactifs chimiques nous renseigne sur les réserves du sol : phosphore total, phosphore organique, et phosphore lié à l'aluminium, au fer et au calcium. Les méthodes de dilution isotopique nous donnent accès aux formes les plus mobiles immédiatement disponibles pour les plantes. Après épuisement de ce compartiment, les formes les plus mobiles doivent se reconstituer à partir des phosphates liés. L'apport de matière organique, en particulier le fumier, modifie le comportement du phosphore du sol et permet en général de diminuer l'apport d'engrais minéraux phosphatés. L'objet de l'étude actuelle est d'examiner le rôle du fumier dans la diminution de retention du phosphore par le sol. Pour cela, nous avons abordé les complexes solubles "humophosphates" liés au fer et à l'aluminium. Il semblerait aussi que la présence de mycorhizes modifie, pour certaines plantes, les possibilités d'extraction du phosphore du sol.

A N N E X E 1

METHODES CHIMIQUES D'EXTRACTION DU PHOSPHORE DU SOL

<u>Protocole</u> : Phosphore total
(mis au point au Laboratoire des Radioisotopes Tananarive)

1. **Minéralisation**
   1 g de sol + 15 ml de $HClO_4$ à 72%
   1 h d'attaque à froid
   minéralisation au bout de 5 h
   après minéralisation, on ajoute 15 ml d'eau, et on filtre en recueillant le filtrat dans une fiole de 100 ml.

2. **Dosage de P** (par le réactif : vanado-molybdique sur 10 ml)
   réactif : dissoudre 10 g de molybdate d'ammonium $(NH_4)_6 Mo O_{24}$, 4 H_2O dans 300 ml d'eau;
   dissoudre 0,5 g de vanadate d'ammonium NH_4VO_3 dans 300 ml d'eau bouillie; mélanger les 2 et compléter à 1000 ml. (Durée de stabilité du réactif = 60 jours).

3. **Préparation des étalons**
   Faire dissoudre 0,2195 g de KH_2PO_4 dans 1 l d'eau. Cette solution contient 50 mg/ml;
   varier la concentration de l'étalon de 2 à 12 mg/ml;
   dans 50 ml du volume final, ajouter 7,5 ml $HClO_4$ à 72%.

4. **Dosage des solutions**
   Prélever 10 ml des solutions étalons dans des tubes à essai, ajouter 10 ml de réactif, et laisser développer la colloration (30 mn) pour les échantillons. (Neutraliser d'abord.)

5. **Spectre d'absorption**
Le spectre ne présente aucun maximum d'absorption entre 800 et 400 mμ. On se placera alors à 440 mμ où le coefficient d'extinction spécifique est assez élevé (=50).

6. **Vitesse de développement et stabilité de la coloration**
Dès l'addition du réactif, la coloration est stable et restera stable au moins 3 mois (les tubes étant bouchés et placés à l'obscurité). Si le réactif a été préparé depuis moins d'un mois, au moment de la réaction on ne note pas d'influence de l'âge du réactif sur la densité optique (D.O.).

7. **Influence de l'acidité de la solution à doser**
Le réactif est neutre. L'acidité de la solution à doser est de 0 à 3,5 N en $HClO_4$. Entre N et 2,25 N, l'acidité n'a pas d'influence sur la D.O

8. **Echelle de concentration**
Entre 0 et 25 ppm de P dans la solution à doser, la D.O. est proportionnelle à la concentration.

9. **Influence des ions gênants**
-Fe^{+++}. Pour une concentration en Fe^{+++} (sulfate de Fe^{+++} et de NH_4^+), variant de 0 à 200 ppm et une concentration en P de 5 ppm, la variation de D.O. est nulle.

Protocole : Phosphore Olsen
Méthode Dabin (1967) -. modification des méthodes Olsen et Jackson.

1. **Principe**
Le phosphore est extrait par un réactif mixte, constitué d'un mélange de bicarbonate de sodium et de fluorure d'ammonium tamponné à pH = 8,5.

2. **Réactifs**
Bicarbonate de Na 0,5 N M = 84,02
Fluorure d'ammonium 0,5 N M = 37,04

- sécher une nuit à l'étuve le bicarbonate de Na ; peser 42,01 g ; l'introduire dans un bécher jaugé d'un litre ; et dissoudre dans 950 Ml d'eau.
- sécher et peser 18,52 g/l de FNH_4;
- le mélanger, et ajuster le pH à 8,5 à l'aide de NaOH 2 N;
- ajuster le volume à 1 l.
Ne pas conserver plus d'un mois.

3. **Extraction**
- opérer sur 1 g de sol broyé à 0,5 mm environ dans un mortier de porcelaine;

- introduire la prise dans un tube de centrifugeuse en nylon de 100 ml, ajouter 50 ml de réactif;
- agiter une heure;
- centrifuger 5 mn à 4500 t/mm.

4. **Purification**
   - ajouter une pincée de charbon pour analyse (lavé plusieurs fois à l'acide à la soude et à l'eau);
   - filtrer sur un petit filtre plat dans une fiole.

5. **Dosage**
   Le dosage des solutions se fait par la méthode Duval à l'auto-analyseur technicon - (1964) par réduction à l'acide ascorbique à chaud (80°C) :
   25 g de molybdate d'ammonium,
   280 ml de H_2SO_4 pur

   50 g d'acide borique 0,8 M dissous dans l'eau,
   10 g/l d'acide ascorbique.

Protocole : Phosphore organique
Méthode PR Hesse - John Murray (1971) Soil Chemical Analysis légèrement modifié.

1. **Phosphore total minéral = P(1)**
   - peser 1 g de sol sec et broyé à 0,5 mm;
   - introduire la prise dans un tube de centrifugeuse en nylon de 100 ml;
   - mélanger avec 10 ml de HCl concentré;
   - mettre au bain-marie bouillant pendant 10 mn;
   - ajouter ensuite 10 ml de HCl concentré.
   - laisser à la température ambiante 1 h
   - ajouter 50 ml d'eau
   - centrifugeur - décanter dans une fiole de 250 ml et ramener à volume

2. **Phosphore total minéral + organique = P(2)**
   - peser 1 g de sol sec et broyé à 0,5 mm dans un creuset en silice et calciné au four à 300°C avec un flux d'oxygène pendant 1 h laisser refroidir et le transvaser dans un tube de centrifugeuse en nylon de 100 ml et procéder comme précédemment.

   P. organique = P(2) - P(1)

3. **Dosage**
   prendre une aliquote de 50 ml le mettre à sec sur plaque chauffante;
   - reprendre avec 4 cc de H_2SO_4.36 N et ramener à 250 ml dans une fiole jaugée;

- dosage par réduction à l'acide ascorbique à chaud.

Méthode d'extraction des complexes organo-métalliques phosphorés

Principe : le sol est extrait en matières humiques solubles et insolubles par 2 réactifs successifs :

1) acide chlorhydrique 1 N à froid,
2) hydroxyde de sodium 0,1 N.

Sur chacun des 2 extraits conservés séparément, on dose :

1) le carbone,
2) le fer,
3) l'aluminium.

Les extractions :

1. la prise initiale est de 10 g de sol fin 0,5 mm.
2. chaque extraction consiste à agiter le sol, en tube de centrifugeuse de 200 ml, avec 100 ml de réactif, pendant une heure pour la 1ère application de chacun des 2 réactifs, pendant 1/2 heure pour chacune des applications suivantes nécessaires de chacun des 2 réactifs.

Minéralisation du fer et d'aluminium :

1. introduire la prise de 100 ml dans un bécher, amener à sec.
2. traiter le résidu sec par un mélange triacide par : H_2SO_4 2 parties, NHO_3 3 parties (en tout 25 ml) puis par HCl 5 parties (25 ml) revenir à sec.
3. reprendre jusqu'à dissolution par HCl concentré (5 ml) et ramener à 250.

A N N E X E 2

ANALYSE DES VEGETAUX MARQUES AU PHOSPHORE 32

1. Les coupes sont effectuées par intervalles de 4 semaines aux ciseaux au niveau du bord des pots.

2. Les feuilles sont récoltées dans des boîtes en carton portées à l'étuve et séchées à 80°C pendant 48 h.

3. Après broyage au moulin à café, 500 mg de poudre sont minéralisées par calcination au four à 550°C pendant 1h 30.

4. On imbibe la silice avec 3 gouttes d'eau, puis on insolubilise avec 2 ml de HCl concentré, on la passe sur filtre, et on ajuste à 50 ml en lavant le precipité à l'eau distillée.

5. Le phosphore est dosé au jaune vanadomolybdique. La radioactivité est mesurée dans un appareil à scintillateur liquide en utilisant l'instagel.

A N N E X E 3

TECHNIQUES DE DOSAGE DES IONS PHOSPHATE DANS LA SOLUTION DE SOL METHODE A L'ACIDE ASCORBIQUE A FROID

Mode opératoire

1. **Préparation du réactif**
   - Molybdate de Na ($Na_2 MoO_4$, $2 H_2O$) à 1,2%;
   - Acide sulfurique 2 N (55 ml H_2SO_4 + 945 ml H_2O);
   - Acide ascorbique à 2,2% (conserver à l'abri de la lumière);
   - Emétique (Oxytartrate de K et de Sb : K (SbO) $C_4H_4O_6$ 00,5 H_2O) à 0,56%.

   Au moment de l'emploi, ajouter dans l'ordre 10 ml de molybdate, 25 ml de H_2SO_4, 10 ml d'acide ascorbique, et 5 ml d'émétique.

2. **Condition d'emploi**
   Cette méthode présente un grand intérêt pour la mesure de l'activité spécifique. Elle permet de réduire le nombre de prélèvements et de transvasements de solutions marquées. On met 10 ml de solution radioactive (une quantité qui permet d'obtenir l'optimum de rendement) dans une fiole à scintillation. Le comptage est effectué par effet Cerenkov. Puis on ajoute 3 ml de réactif. La solution est prête à passer au colorimètre. Par la suite, même si l'on veut doser des solutions non-marquées, les proportions de solution et de réactif resteront les mêmes.

Spectre d'absorption

Le spectre présente 2 pics nets, l'un à 878 et l'autre à 838. Les mesures seront faites à 87[illegible] nm où le coefficient d'extinction spécifique est le plus élevé Les résultats sont identiques avec le molybdate de NH_4.

Vitesse de developpement et stabilité de la coloration

Avec des solutions initiales fraîches et un réactif préparé juste avant l'emploi, la stabilité de la coloration est atteinte en moins de 5 mn. Si le réactif bouché et placé à l'obscurité a été préparé avec de l'acide ascorbique, celui-là étant préparé depuis moins de 48 h et conservé en flacons bruns, il peut être utilisé 24 h sans que le temps de développement de la couleur dépasse 1 h. Si l'acide ascorbique date de 3 à 7 jours, le temps d'utilisation (dans les mêmes conditions que celles employées pour le réactif fraîchement préparé) tombe à 8 h. Ensuite il est nécessaire de préparer de nouveau de l'acide ascorbique. La D.O. ne varie pas de façon sensible pendant 5 jours, puis elle diminue lentement avec le temps pour n'être plus que 85% de sa valeur initiale 1 mois apres reaction, les solutions étant conservées bouchées à l'obscurité.

étant conservées bouchées à l'obscurité.

Influence de l'acidité de la solution à doser

On a fait varier l'acidité de la solution à doser entre 0,64 N (NaOH) et 1,26 N en acide (H_2SO_4). On observera un plateau de D.O. entre 0,06 N en base et 0,25 N en acide. La neutralisation des solutions à doser est nécessaire.

Echelle de concentration

Entre 0,01 et 0,3 ppm de P dans la solution à doser, en cuves de 1 ou de 5 cm, la D.O. varie proportionnellement à la concentration.

METHODE AU SULFATE D'HYDRAZINE

Mode opératoire

1. **Préparation du réactif**
   Réactif A. Dissoudre 25 g de molybdate d'ammonium dans 1000 ml d'acide sulfurique 10 N (280 ml H_2SO_4 36 N + 720 ml H_2O).

   Réactif B. Sulfate d'hydrazine à 0,15% dans l'eau. Au moment du dosage, on mélange 25 ml de A avec 10 ml de B et on complète à 100 ml avec de l'eau. Le réactif peut être utilisé pendant les 6 h qui suivent sa préparation, quoiqu'il prenne une couleur jaune 1 h après mélange.

2. **Condition d'emploi**
   A 12 ml de solution neutre, on ajoute 8 ml de réactif. On porte au bain-marie bouillant durant 10 mn.

Spectre d'absorption

Le spectre présente 2 pics nets l'un à 878 nm, l'autre à 838 nm, où le coefficient d'extinction spécifique est le plus élevé.

Influence du temps de chauffage et stabilité de la coloration

Pour une concentration en P dans la solution à doser de 0,42 ppm, le temps de chauffage a varié de 2 à 20 mn. Mis à part le temps de 2 mn, l'influence du temps de chauffage est négligeable sur la D.O. La coloration est stable 10 mn après l'arrêt du chauffage et reste stable pendant 5 jours. La D.O. décroît lentement ensuite avec le temps pour être égale encore à 85% de sa valeur de départ 2 mois après la réaction.

Influence de l'acidité de la solution à doser

Entre 0,4 N en base et 0,3 N en acide, on n'observe pas

d'influence de l'acidité de la solution à doser sur la D.O.

Echelle de concentration

Entre 0,008 ppm de P et 0,8 dans la solution à doser, la densité optique varie proportionnellement à la concentration.

Influence des ions génants

Fe^{+++} pour une concentration en P de 0,42 ppm, l'influence du Fe^{+++} (sulfate de fer et d'ammonium) n'est négligeable que jusqu'à une concentration en cet élément de 150 ppm dans la solution à doser.

Fluor F l'addition du FNH_4 dans la solution à doser empêche la formation de toute coloration. L'addition d'acide borique avant celle du réactif permet à la couleur d'apparaître ensuite avec une D.O. légèrement supérieure à celle des témoins sans F, augmentation qui se retrouve au niveau des témoins sans P et qui est sans doute due à l'absorption du complexe ($F\ H_3BO_3$).

NH_4^+ pour une concentration en P de 0,42 ppm dans la solution à doser on ne note pas d'effet sur la D.O. de NH_4Cl jusqu'à une concentration N. De même, en milieu NH_4Cl N, les variations de la D.O. en fonction de la concentration sont identiques à ce qu'elles sont en milieu sans NH_4Cl.

BIBLIOGRAPHIE

AMER F. *et al.* 1955. Characterisation of soil phosphorus by anion exchange resin absorption and P_{32} equilibration. Plant and soil, 6:391-408.

BARBIER, G. et LESAINT, M. 1954. Définition au moyen d'isotopes de P_2O_5 assimilable du sol et des engrais - CR Acad. Sc. Fr., 238, 14:1532-1534.

BHAT, K.K.S., TRUONG, B. et BOUYER. 1969. Détermination de la valeur L d'un sol ferrallitique. Action de la chaux. Coll. OUA/IAEA, Kinshasa.

BRUCKERT, S. 1979. Analyse des complexes organo-minéraux des sols. Pédologie, T. 2, Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, pp.187-209.

CHAMINADE. 1965. Bilan de trois années d'expérimentation en petits vases de végétation. Mise au point technique. Résultats. Agron. Trop., 20-11:1101-1162.

CHANG, S.G. et JACKSON, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci., 34:133-144.

DABIN,B. 1966 Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. 1ère partie. Cah. ORSTOM, ser. Pédol., vol. III n°4, pp.335-366.

DABIN, B. 1967. Sur une méthode d'analyse du phosphore (Olsen modifié dans les sols tropicaux. C.R. du colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive tome 1:99-115.

DABIN, B. 1971. Evolution des engrais phosphatés dans un sol ferrallitique dans un essai de longue durée. Phosphore et agriculture, n°58, pp.1-14.

EDWIGTON, D.N. 1965. A proposed mechanism for the uptake of radioactive tracers by an in-vitro hydroxyapatite system. Radiation Research, 25:257-268.

FARDEAU, J.C. et JAPPE. 1978. Analyse par dilution isotopique de la fertilité et fertilisation phosphorique de quelques sols du Quebec. Canadian Journal of Soil Science, 58:251-258.

FARDEAU, J.C. 1981. Cinétique de dilution isotopique et phosphore assimilable des sols. Thèse de doctorat d'état.

GACHON, L. 1972. Fractionnement du phosphore labile en relation avec le type de sol. Ann. Agron., 23:429-444.

KATYAL, J.C. 1978. Conduite de la fertilisation phosphatées sur rizière Phosphore et Agriculture, n°73.

LARSEN, S. 1967. Soil phosphorus. Adv. in Agron., pp.151-210.

MARINI, P. Dosage du P par la méthode au sulfate d'hydrazine et par l'acide ascorbique à froid. (Laboratoire des Radioisotopes).

PICHET, J., TRUONG, B. et BURDIN. 1973. Evolution du phosphore dans un sol ferrallitique soumis à différents traitements agronomiques. Agro-Tropicale, 28, n°2.

RAHARINOSY, R.V. 1979. Etude de la dynamique du phosphore dans quelques sols ferrallitiques des hauts plateaux de Madagascar. Application à des essais de fertilisation. Thèse doc. 3ème cycle.

PART III: ADAPTATION OF THE EXPERIMENTAL DESIGNS TO SITE CHARACTERISTICS

ANALYSE STRUCTURALE DES COUVERTURES PEDOLOGIQUES ET IMPLANTATION D'ESSAIS AGRONOMIQUES ORIENTES

F.X. HUMBEL

Centre ORSTOM, 74 route d'Aulnay 93140 - Bondy, FRANCE

RESUME

Dans les milieux où les couvertures de sol présentent des variations latérales rapides et importantes, les parcelles cultivées englobent tout ou partie de ces variations. Celles-ci doivent donc être analysées finement, non seulement pour en comprendre la genèse, mais aussi pour étudier leur influence sur le comportement des cultures. Il faut également que ces structures complexes soient prises en compte en cartographie pour permettre une extrapolation régionale des résultats des essais agronomiques.

La différenciation latérale est ordonnée (répétitive) et accentuée dans les couvertures de sol en cours de transformation, associant état initial et état transformé, avec en plus des caractères propres à la zone intermédiaire. On oriente alors les essais de comportement des cultures suivant le gradient de la différenciation ordonnée que l'on veut caractériser. Pour étudier l'effet des autres facteurs du rendement on dispose d'autres bandes, côte à côte. L'influence du sol peut se manifester plus ou moins rapidement.

L'analyse structurale est menée d'abord sur le terrain, qui fournit un premier niveau de relations entre horizons ou caractères du sol, mais c'est aux échelles microscopiques et par microanalyse qu'on peut établir d'éventuelles filiations et distinguer réellement les différents plasmas. L'approche est donc itérative entre les niveaux successifs d'organisation. Le comportement des cultures est

lui-même un précieux révélateur de la structure de la couverture de sol, et de sa dynamique actuelle.

ABSTRACT

STRUCTURAL ANALYSIS OF SOIL MANTLES

AND ORIENTATED DESIGNS OF AGRONOMIC EXPERIMENTS

In areas where the soil cover is characterized by rapid and significant lateral variations, cultivated plots of land may include some or all of these variations. These variations should therefore be studied carefully - not only in order to understand how they originate, but also to study their influence on the way crops behave. These complex structures should also be taken into account in drawing up maps so that a regional extrapolation of the agronomic tests can be made available.

Lateral differentiation takes place in a structured (repetitive) fashion, and is particularly in evidence in soils which are in the process of transformation, combining their initial state and their transformed state, and also the specific characteristics of an intermediary state. Consequently experiments on crop behaviour are carried out in accordance with the stage of differentiated structure which needs to be characterized. To study the effect of other factors on the yield, use is made of adjacent plots. The influence of the soil may become more or less quickly apparent.

The structural analysis is first carried out on the land, which provides the first level of relationships between the horizons or characteristics of the soil; but to establish subsequent interconnections and to see the real distinctions between the different plasmas, microscopic studies and microanalysis is required. This means that the successive levels of organisation need a reiterative approach. Crop behaviour is in itself a valuable indicator of the structure of the soil cover and its present dynamic.

INTRODUCTION

Les études à grande échelle du sol amènent à considérer celui-ci à la fois comme un corps organisé et comme un corps hétérogène. La prise en compte de l'hétérogénéité a conduit à la mise en place d'essais agronomiques multilocaux destinés à compenser des variations supposées aléatoires du support-sol. La perception plus récente de l'existence et de l'importance de différenciations latérales ordonnées au sein des couvertures de sol tropicales (Bocquier, 1972; Boulet 1974, 1978; Chauvel, 1977; Leprun, 1979; Nahon, 1976; Ruellan, 1970) amène au contraire à orienter des essais de comportement des cultures dans le sens de la différenciation (Boulet *et al.*, 1985).

Les niveaux structuraux du sol pris en compte dans ces essais sont ceux dont les variations latérales s'expriment à l'échelle des parcelles cultivées (ou des unités de modelé qui fixent la taille de ces parcelles). Il a été montré en Guyane (Boulet, 1978, 1981; Boulet *et al.*, 1979, 1984; Turenne, 1975) que ces variations résultaient dans de nombreux cas de transformations dont les fronts progressent latéralement au cours du temps. L'ordre latéral des variations spatiales reproduit alors le déroulement de la transformation dans le temps.

La connaissance des structures déterminées par ces transformations, et même un repérage précis des traits structuraux significatifs, est nécessaire pour analyser l'influence du sol sur la croissance et le rendement des cultures. Elle permet ensuite d'extrapoler les résultats de l'essai agronomique aux terrains présentant une structure analogue. Encore faut-il savoir reconnaître cette analogie et la traduire dans une cartographie régionale prenant en compte ces structures complexes à développement latéral important.

Le but de cet exposé est de rappeler succinctement comment est conçue et pratiquée l'analyse structurale en vue de ces deux applications, agronomique et cartographique. L'expérience sur laquelle s'appuie cette information est celle d'une équipe associant en Guyane Française pédologues de l'ORSTOM et agronome de l'Institut de Recherche en Agronomie Tropicale. Cette expérience a déjà été transmise dans plusieurs publications qui seront rappelées.

OBJET SOL ET BUT DE L'ANALYSE STRUCTURALE

Dans les régions où la couverture du sol présente des variations latérales ordonnées, définissant des unités structurales complexes pouvant correspondre à des systèmes fonctionnels ou évolutifs, on est amené à prendre en compte ces unités comme objets-sol, notamment pour la cartographie régionale (Turenne, 1978; Boulet, 1981; Brabant *et al.*, 1985).

Cette attitude est particulièrement justifiée lorsque les types de différenciation spatiale sont en petit nombre alors que pour chacun d'eux les variations latérales ordonnées sont importantes et rapides, et qu'il devient alors difficile de les traduire à l'aide d'une suite de profils juxtaposés. C'est le cas de la Guyane où il a été montré que des variations latérales importantes (accentuées et lourdes d'effets) résultaient de transformations en cours, s'accompagnant d'un changement dans la direction des flux gravitaires (Turenne, 1975; Boulet, 1981; Boulet *et al.*, 1979; Humbel, 1978; Guehl, 1984; Fritsch, 1984).

L'analyse structurale a pour objectif premier et principal de montrer l'organisation de cet objet-sol différencié et d'en expliquer la genèse et l'évolution. Son intérêt ultérieur pour la cartographie

ou la caractérisation du comportement des cultures est subordonné au niveau des connaissances acquises en matière de pédogenèse.

NIVEAUX SUCCESSIFS D'ANALYSE

Il importe de mener l'étude à différents niveaux structuraux, successivement et d'une manière itérative. C'est d'abord sur le terrain, à l'échelle de l' unité de modelé, que se fait la mise en évidence de différenciations ordonnées. Une reconnaissance régionale est d'ailleurs nécessaire pour en apprécier le nombre et s'assurer de leur répétitivité. L'analyse commence à ce niveau macroscopique par un découpage en horizons et la caractérisation de ceux-ci. Elle fait apparaître des traits structuraux majeurs et certaines de leurs relations spatiales : discordances d'horizons, formes de leur contact, interpénétrations, reliques, etc. Des arguments essentiels sont ainsi fournis pour établir d'éventuelles filiations directes entre ces horizons.

Mais cette étude à l'oeil et à la loupe ne permet pas de discriminer sûrement les différentes phases qui constituent un horizon : l'information reçue à cette échelle est cumulative et peut être biaisée. L'analyse doit donc être poursuivie aux échelles microscopiques. En lame mince la caractérisation des plasmas, basée sur les propriétés optiques d'un empilement de nombreux cristallites, est encore insuffisante. C'est à l'ultra microscope qu'on peut enfin observer les cristallites et leur agencement, donc discriminer avec certitude les différents plasmas.

L' étude de terrain oriente le choix des observations aux échelles plus fines. L'analyse des filiations directes, entre horizons en contact, se fait sur des échantillons prélevés au niveau de ce contact. Or les contacts latéraux (là où un horizon ou un caractère apparaît ou disparaît lorsqu'on se déplace latéralement) sont des endroits privilégiés pour argumenter ces filiations dans leur zone de progression latérale. Ils doivent donc être repérés.

L'étude comparée des contours latéraux des différents horizons apporte en outre des arguments géométriques essentiels pour établir ces filiations. Pour ce faire, on projette les différents contours sur le plan horizontal d'une carte : ces projetées sont appelées "lignes d'isodifférenciation" (Boulet *et al.*, 1978). Deux lignes peuvent être sécantes : s'il s'agit d'horizons non contigus, cette intersection indique seulement qu'ils se chevauchent. Si les lignes correspondant à des horizons contigus ne se coupent pas, une filiation directe est possible. Les différenciations latérales ordonnées se traduisent par une succession de lignes non sécantes. C'est évidemment cette ordonnance qui sert de base à la cartographie et à l'étude du comportement des cultures. Mais il est possible aussi de prendre en compte des structures discordantes, plus complexes (représentation tridimensionnelle).

LES TRAITS STRUCTURAUX QUI SONT PRIVILEGIES

Dans la démarche présentée, l'analyse commence sur le terrain. Elle conduit à un premier découpage en horizons caractérisés chacun par son enveloppe et son contenu. Ce sont des variations non régulières des caractères pris en compte (couleur, texture etc.) qui servent à définir des limites d'horizons. Leur contenu est alors fixé par leur enveloppe. On privilegie donc au départ le repérage des discontinuités affectant plusieurs caractères à la fois. Mais les variations des différents caractères peuvent ne pas coïncider et on est amené alors à les repérer séparément. C'est le cas du caractère "sec au toucher" des sols de Guyane (Boulet *et al.*, 1979).

Cependant toutes les variations au sein de la couverture de sol ne s'expriment pas par des discontinuités. Il y a aussi des variations progressives, que l'on peut suivre par des lignes d'isovaleurs. A noter d'ailleurs que la délimitation d'horizons est dans tous les cas une opération délicate, plus synthétique qu'analytique, et qui peut introduire des biais.

PRATIQUE DE L'ANALYSE SUR LE TERRAIN

Cette pratique est décrite pour la Guyane dans Boulet *et al.*, 1979 et 1982. Son adaptation à d'autres milieux est en cours.

Son but est de reconstituer la structure à partir d'observations ponctuelles qui sont par nécessité discontinues et espacées, que l'on complète par des tranchées placées à des endroits significatifs : contours d'horizons, intersection de ligne d'isodifférenciation. Il y a donc une part d'interpolation entre points d'observation plus ou moins éloignés, où seule la différenciation verticale est prise en compte. Cette interpolation peut être faussée s'il existe des structures répétitives plus petites, dont on ignore l'existence. Mais en multipliant les observations intermédiaires on finit par les mettre en évidence.

Chaque toposéquence permet de repérer le contour de ses horizons, soit un point pour chaque ligne d'isodifférenciation concernée. Pour tracer une ligne, il faut repérer d'autres points sur des toposéquences voisines, puis des points intermédiaires, et relier tous ces points (interpolation). Bien que nécessitant un travail important, ce repérage d'horizons ou de traits significatifs n'est donc qu'une première approximation. C'est pourquoi il est indispensable de porter sur chaque ligne les points de différenciation effectivement repérés.

Le document qui donne la projection horizontale des traits structuraux du secteur analysé doit être accompagné d'un nombre minimum de coupes nécessaires à la reconstitution en volume de la structure par le lecteur. Ce nombre dépend du degré de symétrie de la couverture de sol (Humbel, 1984). Une légende explicite ces coupes.

APPLICATION A LA CARTOGRAPHIE REGIONALE

Dans la méthode cartographique qui prend en compte des types de pédogenèse à travers leur expression morphologique, réduite le plus souvent à la seule differenciation verticale du sol (profil-type), le choix des premiers points d'observation est fondé principalement sur l'analyse de caracteres externes ou même *extrinsèques* au sol : aspect de surface, couvert végétal, modelé, substrat, etc. Ces données physiographiques délimitent des unités cartographiques dont on s'attache ensuite à préciser le contenu pédologique. C'est aussi la démarche utilisée dans la phase de reconnaissance.

Ici, l'objet sol a une structure plus complexe, nor réductible à sa différenciation verticale. Son analyse repose essentiellement sur des caractères *intrinsèques*, ce qui nécessite un nombre important d'observations pour le définir, et de coupes pour le représenter. Mais, ensuite, comme pour le profil-type, la prospection cartographique consiste à reconnaître ailleurs des structures analogues et à les délimiter, à l'aide d'un nombre plus réduit d'observations. L'analogie ne porte pas sur tous les traits structuraux mais sur un nombre plus réduit de caractères communs et significatifs. Dans le cas des systemes de transformation ce sont des variations ordonnées latéralement, qui se traduisent en projection par une suite de lignes d'isodifférenciation non séquentes.

A plus petite echelle on est amené, comme en cartographie de profils-type à s'appuyer sur des relations de concordance, ou mieux de coïncidence, entre caractères intrinsèques au sol et caractères extrinseques. Il faut donc s'employer à établir ces relations, elles-mêmes complexes (fréquentes discordances).

APPLICATION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT DES CULTURES

Le comportement des plantes cultivées peut être apprécié globalement par la mesure d'indices de croissance de leurs organes aériens et par la mesure du rendement final. Sa compréhension est grandement facilitee par l'observation du système racinaire et le suivi du développement de celui-ci. Certes le sol, et donc sa différenciation spatiale, n'est qu'un des nombreux facteurs d'elaboration du rendement des cultures. Il faudra donc tenir compte aussi des conditions d'ordre climatique, varietal, cultural, phyto-sanitaire, etc. en variant ces conditions dans des parcelles accolées présentant la même différenciation pédologique.

C'est pourquoi on dispose les essais en bandes parallèles, allongées perpendiculairement aux lignes d'isodifférenciation du sol, de manière à englober sur une courte distance l'ensemble des variations pédologiques. Les indices de croissance et la mesure du rendement montrent l'effet, sur le développement des cultures, des caractères successifs du sol, ainsi que des effets liés à cette succession même

(circulations latérales d'eau).

L'analyse structurale est beaucoup plus difficile lorsqu'elle est effectuée non pas dans le milieu naturel avant défrichement et mise en cultures, mais après. En effet les horizons supérieurs du sol initial sont bouleversés et certains caractères importants faciles à repérer dans ces horizons sont effacés.

L'adaptation de la culture à la différenciation primitive du sol est dans un premier temps plus ou moins masquée par l'effet des pratiques culturales et les bouleversements apportés par le défrichement ou la préparation du terrain. Il faut donc attendre le moment où les caractéristiques du sol naturel influencent d'une manière prépondérante la culture. Ce temps est par exemple plus long pour des cultures arbustives installées dans des "trous" où la terre a été ameublie, que pour des plantes annuelles cultivées sans préparation.

L'inventaire des différentes structures présentes dans une région donnée est une opération de longue haleine et il n'est pas possible d'en attendre l'achèvement pour entreprendre l'analyse du comportement des cultures. Le mieux est alors d'installer les essais de comportement sur les sites dont l'analyse structurale a été faite à l'occasion de cet inventaire et qui correspondent à des structures largement représentées dans la région. Sinon, il faudra faire l'analyse détaillée des terrains, et cela avant défrichement dans toute la mesure du possible, et placer les essais en fonction des traits structuraux significatifs.

CONCLUSION

Les couvertures de sol affectées par une transformation à progression latérale non achevée présentent une grande complexité due non seulement à la co-existence du sol non transformé et du sol transformé, mais aussi à l'apparition de caractères originaux dans la zone intermédiaire (Chauvel, 1977; Turenne, 1975; Boulet *et al.*, 1979).

En particulier les conditions de pédoclimat sont diversifiées avec par exemple un "basculement" du drainage qui de vertical libre et profond en haut de versant devient, plus bas, superficiel et latéral (Boulet *et al.*, 1979; Guehl, 1984; Humbel, 1978). Ces écoulements gravitaires peuvent être guidés par des discontinuités propres à la zone intermédiaire, et qui influencent nettement la progession des racines. On comprend ainsi que les zones intermédiaires puissent présenter des comportements culturaux qui ne soient pas intergrades entre les zones à sol transformé et les zones à sol non transformé (Boulet *et al.*, 1985). Il faut rappeler par ailleurs que, dans certains cas, la mise en culture reproduit, ou accélère, la transformation qui se produit dans le milieu naturel : la connaissance de l'une peut aider à comprendre l'autre (Chauvel, 1977).

Ce sont ces couvertures différenciées qui nécessitent d'avoir recours à des essais de comportement cales sur la différenciation latérale. On constate d'ailleurs que ces comportements amènent souvent à préciser l'analyse en révélant l'importance de certains traits morphologiques mal perçus antérieurement. La démarche est donc aussi itérative de l'analyse structurale à l'analyse du comportement, comme à celle de la dynamique actuelle.

BIBLIOGRAPHIE

BOCQUIER, G. 1972. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Sci., Strasbourg, et mém. ORSTOM, n° 62. 350p.

BOULET, R. 1974. Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique. Thèse Sci., Strasbourg et mém. ORSTOM, n° 85. 272p.

BOULET, R. 1978. Existence de systèmes à forte différenciation latérale en milieu ferrallitique guyanais : Un nouvel exemple de couvertures pédologiques en déséquilibre. Science du Sol, n°2, pp.75-83.

BOULET, R. 1981. Etude pédologique des bassins versants ECEREX : Bilan de la cartographie. Bull. Liaison Groupe de Travail ECEREX, n° 4, pp.4-22.

BOULET, R., BRUGIERE, J.M. et HUMBEL, F.X. 1979. Relations entre organisation des sols et dynamique de l'eau en Guyane Française septentrionale. Science du Sol, n° 1 1979, pp.3-17.

BOULET, R., FRITSCH, E. et HUMBEL, F.X. 1978. Méthode d'étude et de représentation des couvertures pédologiques en Guyane Française. ORSTOM Cayenne, multigr. 24p.

BOULET, R., CHAUVEL A. et LUCAS, Y. 1984. Les systèmes de transformation en Pédologie. *In* : Livre Jubilaire du Cinquantenaire de l'AFES, pp.167-179.

BOULET, R., FRITSCH, E. et HUMBEL, F.X. 1979. Les sols des Terres Hautes et de la plaine côtière ancienne en Guyane Française septentrionale. Organisation en systèmes et dynamique actuelle de l'eau. Centre ORSTOM de Cayenne.

BOULET, R., GODON, Ph., LUCAS, Y. et WOROU, S. 1985. Analyse structurale de la couverture pédologique et expérimentation agronomique en Guyane Française.

BOULET, R., HUMBEL, F.X. et LUCAS, Y. 1982. Analyse structurale et cartographie en pédologie. II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédolo-

giques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XIX, 4, pp.323-339. III. Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah. ORSTOM, XIX, n° 4, pp.341-351.

BOULET, R. et LUCAS, Y. 1984. Importance de la différenciation pédologique latérale dans l'expérimentation agronomique en Guyane Française. *In* : Les colloques de l'INRA, n° 24, Prairies Guyanaises et élevage bovin, pp.103-126.

BOULET, R., LUCAS, Y. et LAMOUROUX, M. 1986. Organisation tridimensionnelle de la couverture pédologique. Exemple d'une doline et de ses environs immédiats dans la région de Quiviean (Cuba). 39p.

BRABANT, P. et GAVAUD, M. 1985. Carte des sols à 1/500.000 du Nord Cameroun. Les catégories de sol. ORSTOM.

CHAUVEL, A. 1977. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Thèse Sci., Strasbourg, et Travaux et Documents ORSTOM, n° 62. 532p.

ECEREX. 1979. L'écosystème forestier Guyanais. Etude et mise en valeur. Bulletin de liaison du groupe de travail. CTFT-INRA-Muséum-ORSTOM, n° 1, n° 2, n° 3 1979, n° 4, n° 5, n° 6 1980.

FRITSCH, E. 1984. Les transformations d'une couverture ferrallitique. Analyse minéralogique et structurale d'une toposéquence sur schistes en Guyane Française. Thèse 3ème cycle, Université de Paris, VII, ORSTOM. 188p.

GUEHL, J.M. 1984. Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. Ann. Sci. For. 1984, 41(2):195-236.

HUMBEL, F.X. 1978. Caractérisation par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement, de sols de Guyane Française à dynamique de l'eau superficielle. Sci. Sol Bull. A.F.E.S., 2:83-93.

HUMBEL, F.X. 1984. L'analyse structurale des couvertures de sol : Une base pour la cartographie des sols en Guyane. Livre Jubilaire du Cinquantenaire de l'AFES France, pp.181-19..

LEPRUN, J.C. 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformation, dégradation. Thèse Sci., Strasbourg. 222p.

NAHON, D. 1976. Cuirasses ferrugineuses et encroûtments calcaires au Senégal occidental et Mauritanie. Systèmes évolutifs, géochimie, structures relais et coexistence. Thèse Sci., Marseille, et Sciences Géologiques Mém., n° 44. 232p.

RUELLAN, A. 1970. Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Bassa Moulouya (Maroc oriental). Thèse Sci. Nat., Strasbourg, et Mém. ORSTOM, 1971. 302p.

SOUBIES, F. et CHAUVEL, A. 1984, 1985. Présentation de quelques systèmes de sols observés au Brésil. Cah. ORSTOM, n° 4. (à paraître).

TURENNE, J.F. 1975. Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. Thèse Sci., Nancy, et Mém. ORSTOM, n° 84, 1977. 173p.

TURENNE, J.F. 1978. Pédologie (plaines côtières) planche 11. Atlas des D.O.M. La Guyane. CNRS-CEGET-ORSTOM.

VARIATIONS SPATIALES D'UNE COUVERTURE PEDOLOGIQUE RELATIVEMENT HOMOGENE ET EXPERIMENTATION AGRONOMIQUE EN BASSE COTE D'IVOIRE

R. MOREAU

Pédologue ORSTOM, 70-74 Route d'Aulnay, 93140 Bondy, FRANCE

RESUME

Des variations spatiales des caractères du sol d'ordre décimétrique, metrique et décamétrique existent à l'intérieur d'une même unité d'organisation de la couverture pédologique ferrallitique, sur sables tertiaires en basse Côte d'Ivoire. Selon la superficie qu'elles occupent, les parcelles d'expérimentation peuvent ou non intégrer ces variations spatiales d'origine biologique, sédimentaire ou pédologique.

Il est nécessaire de bien caractériser l'hetérogénéité spatiale du sol et d'en tenir compte pour améliorer l'efficacité des résultats des essais agronomiques, aussi bien sur le plan de la précision et de la signification des résultats que du point de vue économique.

Le choix des parcelles d'essai résulte finalement de plusieurs contraintes à concilier : superficie minimale nécessaire à la bonne conduite de l'expérimentation, surface utile offerte par le terrain, précision attendue des résultats, moyens disponibles.

SUMMARY

SPACE VARIATIONS IN A HOMOGENEOUS SOIL MANTLE

AND AGRONOMIC EXPERIMENTATION IN LOWER IVORY COAST

Under sub-equatorial climatic conditions (2100 mm of annual rainfall) and evergreen forest, the somewhat homogeneous, impoverished, and

highly unsaturated ferrallitic soil mantle on Tertiary sands in lowe Ivory Coast (Paleudult) displays some space variations in certai soil features.

These variations are observed at three different levels, namel decimetric and metric levels for the biological variations, and th decametric level for sedimentary and soil varia'ions which involv the content of fine elements.

The selection of experimental plots ultimately results from integrating a number of constraints: the minimum area necessary to conduc the experiment, the useful area provided by the site, the accurac of the expected results, and the available means.

Using the split plot experiment (Figure 2), the influence of three ploughing depths on the production of cassava seems to be significant only after adjustment to the soil clay content (independent covariable) due to a considerable decrease in the variation coefficient (Table 2). Otherwise, this influence is concealed by the space heterogeneity of the study area.

The analysis of covariance allows a sharper judgement to be made on the effect of a checked factor, but it requires a rather complex device, and numerous samples need to be analysed. In the case of studies where it is necessary to reduce the costs, one is led to take composite samples repeated in time, for which it remains necessary to evaluate the accuracy of the results. This can be done either by analysing, at least once, each of the elementary samplings in one composite sample or by taking a few repeated composite samples at one time. This considerably decreases the number of analyses while keeping some satisfactory values of the standard deviations and of the variation coefficient for the different parameters under consideration (Table 3). However, due to the small number of degrees of freedom, the values of the confidence interval are higher on the results.

The integration of the space heterogeneity into a unit plot is justified, especially in the case of studies concerning soil evolution, only if it concerns insignificant variations which do not lead to the soil dynamics and behaviour being basically different from one another. Otherwise, the result obtained would correspond only to the particular means of different situations without any explicative value for any of them.

Finally, the selection of a site and the creation of trial plots result from several constraints which must be reconciled, namely the adequacy of the area adequate to conduct the experimentation, the usable soil area as related to the space variations, the expected accuracy of the results, and the available means. It is always necessary to have a good knowledge of the

space heterogeneity in order either to dismiss it, to integrate it, or to evaluate the specific effects, if one wants to obtain significant results for the best possible cost.

INTRODUCTION

Différentes études agronomiques et pédologiques réalisées sur le terrain du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, en Côte d'Ivoire, montrent que même dans une couverture pédologique relativement homogène, telle que celle des sols ferrallitiques sur sables tertiaires en basse Côte d'Ivoire, il existe des variations latérales de certains paramètres du sol, dont il faut tenir compte dans les expérimentations sur parcelle.

LE MILIEU

Le climat est de type subéquatorial à deux saisons pluvieuses : (2100 mm de pluie/an), avec une végétation naturelle de forêt sempervirente.

Sur le plan géomorphologique, les sables tertiaires constituent un bas plateau découpé de vallées mortes relativement encaissées, se raccordant à la zone lagunaire proche vers le sud. Ces vallées sont séparées par des étendues pouvant atteindre plusieurs kilomètres, offrant une surface très mollement ondulée où les pentes n'excèdent pas 1 à 3%. Sur ces vastes zones, le sol est exclusivement de type ferrallitique très désaturé appauvri, sableux en surface et s'enrichissant en argile avec la profondeur (Tableau 1). Il s'agit d'un Paleudult selon la classification américaine.

TABLEAU 1 - SOL FERRALLITIQUE TRES DESATURE APPAUVRI, (ADIOPODOUME)
Ferralitic soil (paleudult) at Adiopodoumé

Profondeur *Depth*	Argile *Clay* (%)	C total (%)	C total (%)	CEC pH7 (me/100g)	S (mé/100g)	S/T (%)	pH H_2O
0-10 cm :	8.0	10.7	0.89	5.40	0,90	18.0	4.5
10-20 cm :	8.0	6.9	0.53	4.75	0.40	8.0	4.7
20-30 cm :	10.0	5.7	0.46	4.25	0.30	8.0	4.7
30-50 cm :	11.0	4.8	0.39	3.85	60.30	8.0	4.9
30-70 cm :	20.0	5.0	0.38	5.00	60.30	5.0	4.6

LES VARIATIONS PEDOLOGIQUES

L'étude plus détaillée du sol, au niveau de ses horizons, révèle l'existence de variations latérales pour certains caractères, qui peuvent être schématiquement considérées à trois niveaux d'échelle, sous végétation forestière.

- A l'échelle décimétrique (figure 1) : poches irrégulières contenant de la terre avec des caractères de texture et de richesse en matière organique différents de ceux de l'horizon environnant. Il s'agit de remplissage de cavités d'origine biologique : racines après décomposition, faune... Ces poches se situent surtout au-dessous de 80 cm.

- A l'échelle métrique : on observe une variation relative inverse de l'épaisseur des horizons A_2 et B_1, en liaison avec la profondeur de pénétration de la matière organique ; l'horizon de transition B_1 pouvant dans certains cas disparaître au profit de A_2 ou A_3 (profils figure 1). Des remaniements superficiels, à la suite de chablis, basculement des souches... peuvent être pour une bonne part à l'origine de ces différenciations.

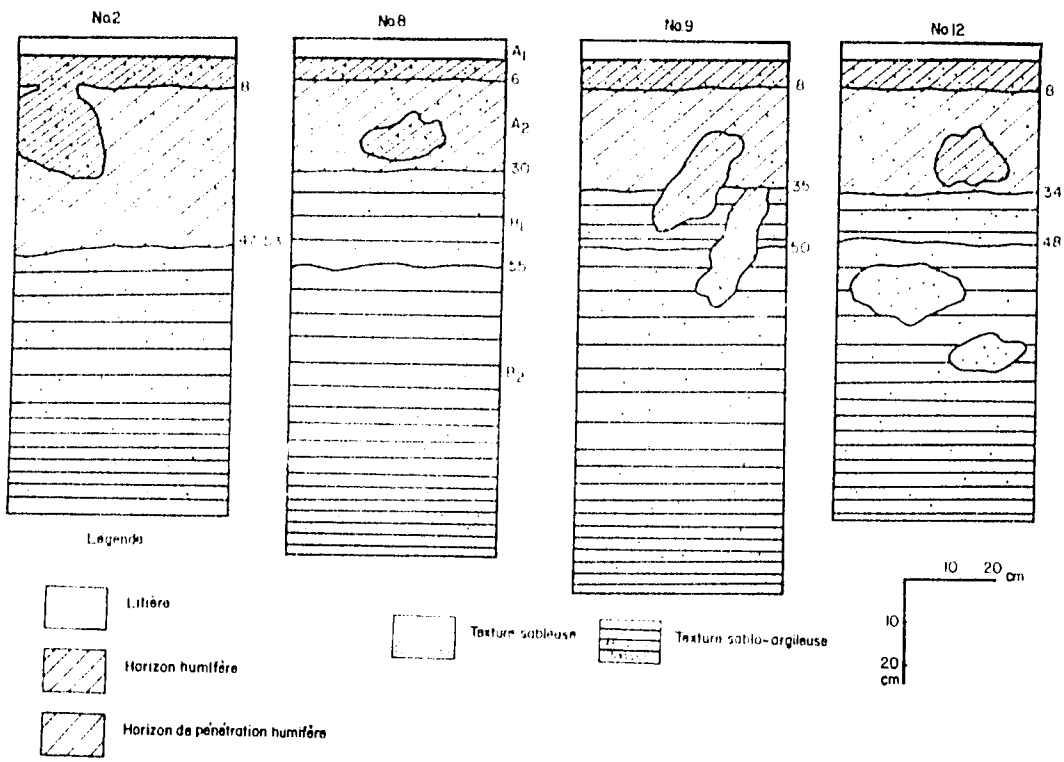


Figure 1. Profils de sol sous forêt à adiopodoume (d'après E.A. AKODO, 1977)

- A l'échelle décamétrique : la variation précédente peut aussi se manifester à cette échelle, mais il s'agit surtout ici d'une variation latérale de la teneur en éléments fins, en profondeur. Dans les profils, l'enrichissement vers le bas apparaît plus ou moins progressif et important, avec des écarts pouvant atteindre et dépasser 10% d'argile d'un endroit à l'autre, au niveau des horizons B. Des résultats tirés d'un essai agronomique réalisé à Adiopodoumé (Bonzon et De Boissezon, 1986) sur une parcelle de 94x42 m, permettent d'établir une carte de variation spatiale de la teneur en argile + limon fins (0-20µ) de 0 à 60 cm, dans ce type de sol (figure 2). On y observe des courbes d'isovaleur réparties entre deux pôles minimum et maximum, passant de 13 à 23% sur une distance de 20 à 30 m, avec un gradient latéral assez régulier de 0,2 à 0,4% par mètre.

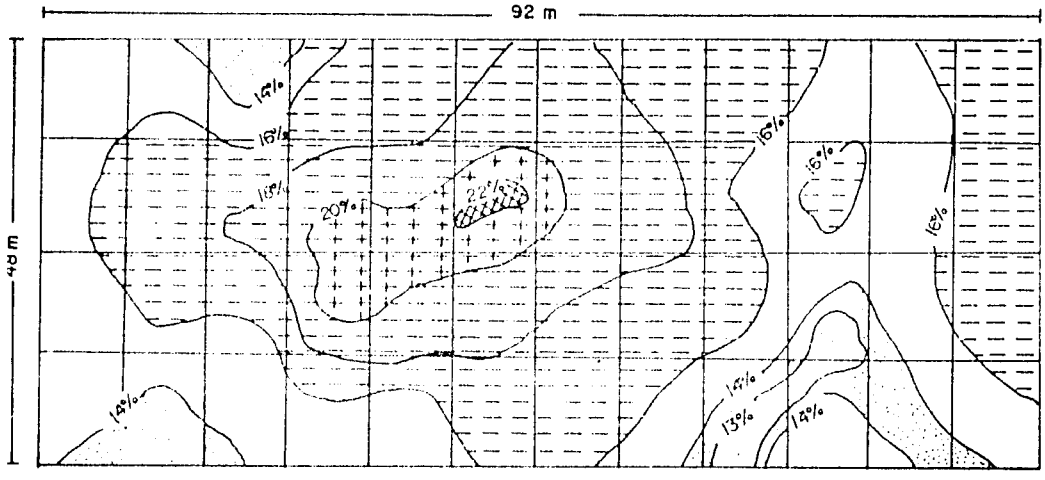


Figure 2. Teneurs moyennes en argile + limons (0-20 µ) du sol, de 0 à 60 cm de profondeur, adiopodoumé (d'après Bonzon et de Boissezon, 1986)

La mise en culture a pour effet de supprimer ou d'atténuer les variations d'ordre décimétrique et métrique essentiellement d'origine biologique, bien que certaines pratiques culturales puissent en faire apparaître de nouvelles. Par contre, elle restera sans effet sur la variabilité texturale d'ordre décamétrique d'origine sédimentaire et pédogénétique.

HETEROGENEITE SPATIALE ET EXPERIMENTATION AU CHAMP

S'agissant d'expérimentation au champ il est nécessaire de savoir si la variation spatiale des caractères du sol peut ou non être intégrée dans une unité de surface donnée, laquelle se trouve généralement déterminée par le type d'expérimentation entreprise. Dans le cas du sol d'Adiopodoumdé, on peut par exemple dire que des parcelles de plusieurs dizaines à quelques centaines de mètres intègrent l'essentiel des variations résultant de l'influence des êtres vivants, mais qu'il faut des parcelles de l'ordre du millier de m^2 pour intégrer la variation de teneur en éléments fins (figure 3).

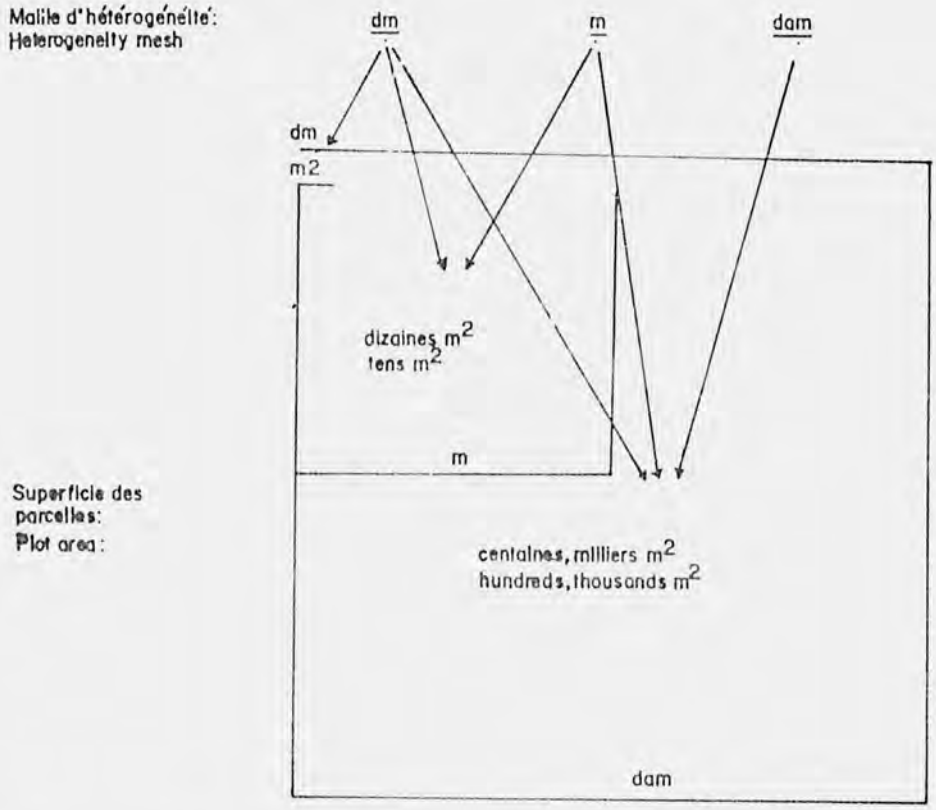


Figure 3. Schema théorique des possibilités d'intégration de la variabilité spatiale dans les parcelles d'expérimentation

L'expérimentation dont il a été question plus haut est un essai multi-factoriel portant sur l'influence de trois profondeurs de labour (20, 30, 40 cm) et de l'apport de 4 doses de fumier (0, 30, 60, 90 t/ha) sur l'évolution des caractères du sol et sur la production de manioc. Il s'agissait d'un essai en 4 blocs, subdivisés en parcelles et sous-parcelles (split-plot) : au total 48 sous-parcelles (7,7x12

m), permettant une analyse statistique approfondie des résultats : (analyse de variance et covariance, modélisation de l'évolution du stock organique...). Les résultats de cet essai sont développés par ailleurs. On retiendra surtout ici que l'effet bénéfique de la profondeur du labour n'apparaît significatif qu'après ajustement sur certaines covariables indépendantes, et principalement sur la teneur en argile du sol ; cela en raison d'une diminution importante du coefficient de variation (Tableau 2). En d'autres termes, la production de manioc augmenterait avec l'épaisseur de la couche travaillée, mais cet effet se trouve masqué par l'hétérogénéité texturale du champ d'essai.

TABLEAU 2 - EFFET PROFONDEUR DU LABOUR (ADIOPODOUME)
Effect of ploughing depth (Adiopodoume)

Variable	Covariable	Moyenne générale *Global mean*	Moyennes blocs *Blocks means*	Fb effet blocs *Blocks effect*	Moyennes prof. lab. *Means plough.dep.*	Fp Effet prof. lab. *Effect plough.dep.*	Ecarts résiduels *Residual deviation*	Coef. de variation *Variation coef.*
Poids manioc par plante (kg)	-	4.050	B_1:4.230 B_2:3.731 B_3:4.219 B_4:4.020	0.61 NS	P_1:3.864 P_2 4.020 P_3:4.257	0.58 NS	1.038	25.6%
Weight of Cassava per plant	Argile *Clay*	4.050	B_1:4.187 B_2:4.336 B_3:3.814 B_4:3.864	3.26 NS	P_1:3.628 P_2:3.980 P_3:4.543	14.60 SS	0.483	11.9%

(d'après Bonzon, De Boissezon, 1986)

L'analyse de covariance qui permet d'affiner le jugement sur l'effet du facteur contrôlé n'est possible qu'avec la mise en place d'un dispositif complexe et l'analyse d'un nombre important d'échantillons : dans ce cas, avec quatre profondeurs cela représente 192 échantillons. Dans la mesure où les analyses complètes de sol n'ont été réalisées qu'en début et en fin de cycle (17 mois), cela reste encore dans le domaine du possible.

Pour d'autres cas, par exemple celui de l'évolution des sols cultivés, où l'on souhaite étudier des processus de transformation d'état et de propriétés du sol et, si l'on veut, disposer de résultats à intervalles rapprochés, pendant une période de longue durée, il est nécessaire de chercher à limiter le nombre d'échantillons à analyser. On est alors conduit à réaliser des échantillons composites sur une surface qui pourra intégrer les variations spatiales mineures du sol pour un secteur topographique considéré.

Il reste cependant nécessaire d'estimer la précision des mesures obtenues sur échantillon composite, si l'on veut savoir quelle signification accorder à une différence entre deux résultats comparatifs.

Cela peut se faire de deux façons.

1. Soit en analysant au moins une fois chacune des prises élémentaires d'un échantillon composite, ce qui servira également, s'il en est besoin, à ajuster le nombre de prises nécessaires pour obtenir une précision souhaitée des mesures sur la parcelle considérée. Ce travail nécessite un assez grand nombre d'échantillons à étudier. Etant accompli pour une parcelle donnée, on peut considérer qu'il n'est pas nécessaire de le refaire pour d'autres qui seraient situées sur la même unité d'organisation de la couverture pédologique, à condition d'être assuré que la variabilité spatiale des caractères du sol y reste de même importance.

2. Soit avec un nombre réduit de répétitions d'échantillons composites, à condition d'avoir déjà une assez bonne idée du nombre de prises nécessaire pour assurer une bonne représentativité de la parcelle étudiée (cf. cas précédent). On diminue ainsi considérablement le nombre d'analyses à faire pour aboutir à des valeurs du coefficient de variation comparable à celles obtenues par l'analyse des prises séparées. Mais avec un faible degré de liberté, on est conduit, sur le plan statistique, à une surestimation des marges de sécurité, si l'on applique les normes usuelles d'évaluation des niveaux de confiance.

Toujours pour le sol d'Adiopodoumé, on trouvera par exemple au tableau 3 les résultats d'analyse de quatre échantillons composites, de trente prises élémentaires chacun, portant sur le carbone total et sur la teneur en argile, pour une parcelle de 1470 m voisine de l'essai précédent. Avec quatre répétitions d'échantillon composite, on obtient des coefficients de variation très bons pour le carbone total et encore bons par l'argile. Mais avec seulement trois degrés de liberté, on sera conduit à une estimation plus élevée de l'intervalle de confiance et de la plus petite différence significative entre deux résultats.

TABLEAU 3 - QUATRE RÉPÉTITIONS D'ÉCHANTILLON COMPOSITE
Four repeated composite samples

30 Prises élémentaires sur 1470m² (Adiopodoumé)
30 Elementary sampling over 1470m² (Adiopodoumé)

Profondeur *Depth*	Répétitions *Repeated samples* A	B	C	D	Moyenne *Mean* $\bar{x}$	Ecart type *Standard deviation* s	Coef. var. *Var. coef.* C.V/%
	Carbone total, *total carbon* %						
0-10cm	12.8	12.2	13.5	13.7	13.0	0.6[illegible]	3
10-20cm	9.5	9.4	9.3	10.6	9.8	0.59	6
20-30cm	6.4	6.0	6.3	6.5	6.5	0.19	2.9
30-50 cm	5.1	5.0	5.0	4.9	5.0	[illegible]	1.6
50-70cm	4.4	4.6	4.3	4.5	4.4	0.15	3.4
	Argile, *clay* %						
0-10cm	7.5	6.0	7.5	6.5	6.9	0.75	10.7
10-20cm	8.5	7.0	8.5	8.0	8.0	0.71	8,8
20-30cm	9.0	9.5	10.0	7.5	9.0	1.08	12.6
30-50cm	11.0	8.5	11.0	8.5	9.8	1.44	14.7
50-70cm	12.5	12.0	13.5	10.5	12.1	1.25	11.1

Soulignons le fait que l'intégration de l'hétérogénéité spatiale dans une parcelle unitaire de surface appropriée n'est justifiée, particulièrement dans le cas des etudes d'évolution du sol, que si cette hétérogénéité ne concerne que des variations mineures, n'impliquant pas de contraintes dans le sol entraînant des processus de fonctionnement ou de comportement fondamentalement différents les uns des autres. Faute de quoi, les résultats obtenus dans de telles conditions ne correspondraient qu'à des moyennes de situations dissemblables, voire même opposées, et sans valeur explicative pour aucune d'entre elles.

En fait, il est rare que les caractéristiques physiques et chimiques des échantillons de sol prélevés dans les différentes parcelles d'un champ d'essai puissent être considérées comme appartenant à une population normale. Par contre, dans le cas des essais en blocs complets randomisés, l'élimination de l'effet des traitements, et en particulier de l'hétérogénéité entre les blocs, fait que les tests de normalité, réalisés sur les residus d'ajustement de l'analyse de la variance, sont generalement significatifs. Dès lors, il est possible d'étudier la covariance et d'éliminer soit l'influence de l'hétérogénéité initiale sur la caractéristique ajustée, soit l'influence de l'hétérogénéité sur d'autres caractéristiques qui sont liées à la caractéristique etudiée.

CONCLUSION

Finalement le choix d'un site et l'établissement de parcelles d'étude résultent de plusieurs contraintes à concilier :

1. Une superficie suffisante pour la réalisation pratique de l'expérimentation : façon culturale, évaluation des rendements, étendue necessaire à l'execution répetée de plusieurs séries de prélèvements pendant un temps déterminé (sans revenir au même endroit).

2. La surface utile effective offerte par les variations spatiales, si l'on veut travailler sur un secteur de sol pouvant être considéré comme homogène sur la plan de ses caractères, fonctions et propriétés. Il peut être aussi nécessaire d'adapter la forme des parcelles à la configuration de l'organisation spatiale du sol, ceci en compatibilité avec les conditions d'exécution de l'expérimentation.

3. La précision attendue sur les résultats, dépendante de la variabilité naturelle du sol, et dont l'amelioration nécessite d'accroître le nombre de prélèvements, donc de surface à échantillonner (cas d'une étude suivie), et aussi des moyens.

4. Enfin, les moyens disponibles pour l'exécution de l'opération et qui ne sont malheureusement pas sans limite.

Il convient donc d'arriver à un compromis entre ces différentes nécessités, la question étant de savoir dans quelles limites demeurer pour conserver aux résultats obtenus une valeur significative acceptable.

Quand elle existe, et sauf si elle fait elle-même l'objet d'une expérimentation particulière, dans le cas d'une étude de relations sol-plante par exemple, l'hétérogénéité spatiale constitue un inconvénient pour la conduite d'expérimentation avec des dispositifs simples. De toute façon, il est toujours nécessaire de la bien connaître afin de composer avec elle, soit pour l'écarter, l'intégrer ou en évaluer les effets spécifiques, si l'on souhaite obtenir des résultats significatifs au meilleur coût possible.

BIBLIOGRAPHIE

AKODO, E.A. 1977. Etude de l'évolution biochimique des sols ferrallitiques forestiers de basse Côte d'Ivoire, sous l'effet du défrichement. ORSTOM, Adiopodoumé. multigr. 80p.

BONZON, B. et DE BOISSEZON, P. 1986. Effet de l'apport de fumier sur les caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique ivoirien. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. (à paraître).

MOREAU, U. 1983. Evolution des sols sous différents modes de mise en culture, en Côte d'Ivoire forestière et préforestière. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XX, n° 4, 1983, pp.311-325.

APPENDICES

APPENDIX I: RESOLUTIONS

PROGRAM ORGANIZATION
PROPOSED INTERNETWORK PROGRAM

The network organization has been described in other IBSRAM publications, mainly in the reports of the inaugural workshops and the newsletter. By and large these descriptions remain valid; but in order to achieve better efficiency, a regional approach is taking place in conjunction with a common coordination concept for the two networks - Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture and Management of Acid Tropical Soils.

It has been decided that the title of the proposed internetwork program should be "Land Development and Management of Acid Tropical Soils in Africa (LDMATSA)." This network development will not destroy the integrity of the two initial networks, but should help to foster links between them while at the same time facilitating the coordination process. It is recognized that some projects will focus on tropical land clearing whereas others will concentrate on the management of acid tropical soils. Others again, like the one presented by Cameroon, may integrate the two objectives.

MECHANISM FOR PARTICIPATION IN THE PROGRAM

The mechanism which has been set up for participating in the IBSRAM program is specified in the following guidelines:

1. Type of participation

   Three types of participation are possible in the program

   a) A simple participation in different program activities (receiving the IBSRAM newsletter, and participating in some workshop and training sessions).

   b) Active participation - both by having an accepted program and by participating in all the various program activities.

   c) Participation by having an accepted program in the common area of research and also by carrying out some basic research related to the objectives of the networks - in addition to participating in all the different program activities.

2. Mechanism of approval for the projects

   a) The project may be presented to IBSRAM by national institutions.

   b) The project may be reviewed by the members of the Network Coordinating Committee in accordance with the criteria of approval (see below).

   c) The project, having been discussed and agreed upon between the NCC and the cooperator, may be accepted as an IBSRAM project. (Bear in mind, however, that the IBSRAM Board of Trustees must endorse this acceptance.)

d) After approval an official letter of acceptance will be sent to the cooperator, who may use it as a letter of support for fund seeking.
e) During regular meetings of the networks, cooperators will present their results. These will be discussed and reviewed by the participants in order to maintain a high scientific and development standard in the program.

3. Criteria of approval
a) The project must fulfill the network objectives as defined in the inaugural workshop and as clarified during the present seminar.
b) The project is technically acceptable, i.e. it follows the approach which has been defined during the present seminar and is well defined.
c) The project is thought to be economically acceptable.
d) The country is already involved in research of the type proposed, or is willing to invest in training for its personnel to achieve worthwhile participation.
e) If a research project is proposed, it should have a broader objective than the country objectives per se, and should have implications on wider a scale. This requirement will not apply to validation projects.

PROGRAM IMPLEMENTATION

Immediate action will be taken by the Director of IBSRAM to gain donor support for the program, especially for the cost of coordination. These funds include employment of a program coordinator and the cost of meetings and monitoring tours. The role of the program coordinator will be the same as that described for the network coordinator in the reports of the inaugural workshops.

So as not to lose momentum in the period before the program coordinator is appointed, the Director will immediately contact cooperators and relevant organizations to carry out various functions as set out below:

1. Cooperators to redraft their project proposals in accordance with the discussions which took place during the seminar, and with the guidelines provided during the inaugural workshop on Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture (Appendix IV).

2. Cooperators to follow up activities already started or to start activities as soon as their program is agreed upon, even on a small scale.

3. SMSS, TropSoils and ORSTOM to help in detailed characterization by carrying out their own approaches (Soil Taxonomy,

FCC, French classification and structural analysis for at least one site, which could be the following year's meeting place), and to give guidance to the cooperators in order to help them in this exercise.

4. Cooperators to send to IBSRAM an inventory of their available laboratory equipment and to list their needs regarding soil and plant analyses.

5. Cooperators to send their training plans and a list of available facilities at different levels in order to organize training sessions. IBSRAM will encourage cooperators to send participants to IITA soil and plant analysis courses, or to avail themselves of similar opportunities.

APPENDIX II

PROGRAM OF THE IBSRAM SESSION

Thursday January 23

Morning : Visit to a road cutting showing laterites on metamorphic rocks on the Douala-Yaounde road

Afternoon : Soil profiles - classification repartition - uses
- Mungo river terraces
- Ekona experimental station

Friday January 24

First part: IBSRAM network organization

Chairmen: Prof. H. Scharpenseel
Dr. Bindzi-Tsala

General presentation	M. Latham
Results of the inaugural workshop on Management of Acid Tropical Soils	P. Sanchez
Results of the inaugural workshop on Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture	R. Lal

Second part: Site selection

Chairmen: Prof. A. Herbillon
Prof. P. Ashaye

Clearing and management of lateritic soils. First step in the implementation of IBSRAM projects	M. Latham
Analyse de la couverture pédologique : choix du site experimental au Cameroon	J. Bindzi-Tsala L.R. Ambassa-Kiki P. Bilong A. Anguene-Mala

Site selection in Zambia — L. Chileshe, O. Spaargaren

Third part: Site characterization 1

Chairmen: Dr. V. Raharinosy
Prof. C. Mathieu

Relation entre la porosité et le pedoclimat dans le domaine ferrallitique au Cameroon — F.X. Humbel

Encroutement superficiel du sol : quelques applications agronomiques — C. Valentin

Organic matter characters — H. Scharpenseel

Fourth part: Site characterization 2

Chairmen: Prof. A. Ruellan
Dr. L. Chileshe

Edaphic characters — P. Sanchez

Mineralogical characters — A.S.H. Juo

Phosphorus characters — V. Raharinosy

Saturday January 25

Fifth part: Adaptation of the experimental design to soil characteristics

Chairmen: Dr. A. Mapangui
Dr. O. Spaargaren

Analyse structurale des couvertures pédologiques et implantation d'essais agronomiques orientés — F.X. Humbel

Variation spatiale d'une couverture ferrallitique relativement homogène et experimentations agronomiques en basse Côte d'Ivoire — R. Moreau

Sixth part: Presentation of national project proposals ATS

Chairmen: Prof. Pedro Sanchez
Dr. Aku O'Kting'Ati

Cameroon
Congo
Ivory Coast
Madagascar
Zambia
Nigeria
Burundi
Rwanda

Seventh part: Presentation of national project proposals on Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture

Chairmen: R. Lal
A. Moukam

Tanzania
Nigeria
Ivory Coast
Meeting of the Network Coordinating Committee
Meeting of the working groups

Sunday January 26

Field trip to Barombi Kang

Monday January 27

Eighth part: Implementation of the networks
Chairmen: Dr. J. Eckebil
Dr. M. Latham
Report of the NCC
Report of the working groups
Formation of the Land Development and Management of Acid Tropical Soils Network
General discussion
Closing session chaired by Prof. Beaupelé.

APPENDIX III

PARTICIPANTS

BURUNDI

Clément MATHIEU
Faculté des Sciences Agronomiques
BP 2940 Bujumbura

CAMEROON

Paul R. ANAMOSA
University Center, Dschang
BP 135 Dschang West Province

Emanvel AWA
CNS Ekona Station
PMB 25 Buea

John AWEMO
Chief Barombi Kang Station IRA
BP 62 Kumba

Paul BILONG
Faculté des Sciences, Université de Yaounde
BP 182 Yaounde

Joseph BINDZI-TSALA
Centre National des Sols
BP 5578 Yaounde

William BLUE
Centre Universitaire de Dschang
ENSA BP 222 Dschang

Emanuel DOUNOU-TCHATO
IRA
BP 221 Bangangte

Jacques ECKEBIL
IRA
BP 5578 Yaounde

E.R. ELA-ELVINA
CENEEMA
BP 1040 Yaounde

Serge GUILLOBEZ
CIRAD/IRA/CNS
BP 44 Dschang

Jan HOF
FAO/Ekona Research
PMB 25 Buea

Philippe IKELE
DPAL
BP 257 Douala

Philip A. KIPS
FAO/Ekona Research
PMB 25 Buea

J. KOTTO-SAME
CNS
BP 5578 Yaounde

Appolinaire MOUKAM
CNS Ekona Station
PMB 25 Buea

David NGAKANOU
CNS Ekona Station
PMB 25 Buea

Simeon T. NUMBEM
CNS Ekona Station
PMB 25 Buea

A.F. OLONANA
CENEEMA
BP 1040 Yaounde

Male OUNGUENE
IRA/CNS
BP 5578 Yaounde

Mesurin TCHINDJANG
Département de Géographie
Université de Yaounde
BP 755 Yaounde

Frederic TCHUENTEU
IRA/CNS Ekona
PMB 25 Buea

Eric Van RANST
Centre Universitaire de Dschang
ENSA BP 222 Dschang

Elise YEM
CENEEMA
BP 1040 Yaounde

Rose YOUNGUE
Faculté des Sciences, Université
de Yaounde
BP 812 Yaounde

CENTRAL AFRICAN REPUBLIC

Yves BOULVERT
ORSTOM
BP 893 Bangui

CONGO

Erik BRAUDEAU
ORSTOM
BP 181 Brazzaville

Antoine MAPANGUI
DGRST/ORSTOM
BP 181 Brazzaville

Jean Mathias KOUD
Lab. Géol. Sédimentaire
Université M. NGOUABI
BP 237 Brazzaville

FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

H.W. SCHARPENSEEL
Universitat Hamburg
Allende Platz 2 D 2000
Hamburg 13

FRANCE

Mireille DOSSO
Centre Scientifique IBM France
36 QU R. Poincaré 75116 Paris

Adrien HERBILLON
Centre de Pédologie Biologique
BP 5 54501 Vandoeurre les
Nancy Cedex

François Xavier HUMBEL
ORSTOM
70-74 RT d'Aulnay 93140 Bondy

Alain RUELLAN
ORSTOM
213 Rue Lafayette 75010 Paris

Boris VOLKOFF
ORSTOM
70-74 RT d'Aulnay 93140 Bondy

IVORY COAST

Emanuel FRITSCH
ORSTOM
BP V 51 Abidjan

Grahoua GODO
Ministère Recherche/ORSTOM
BP V 51 Abidjan

Chistian VALENTIN
ORSTOM
BP V 51 Abidjan

Gballou YORO
Ministère Recherche/ORSTOM
BP V 51 Abidjan

MADAGASCAR

Violette RAHARINOSY
Ministère de la Recherche
Scientifique
BP 694 Tananarive 101

NIGERIA

Akinola A. AGBOOLA
Dept. of Agronomy, University
of Ibadan
Ibadan

T.I. ASHAYE
Dept. of Soil Science, University
of IFE
IFE

M. BERNARD
IITA/FSP
PMB 5320 Ibadan

A.S.R. JUO
IITA
PMB 5320 Ibadan

R. LAL
IITA
PMB 5320 Ibadan

NORWAY

Balram SINGH
Agricultural University of Norway
Box 28 1432 AS NLH

RWANDA

Valens NDOREYAHO
Faculté d'Agronomie, Université
Nationale du Rwanda

Johan VERCRUYSSE
Centre Pédologique du Rwanda
BP 74 Kigali

TANZANIA

Aku O'KITING'ATI
Sokoine University
Box 3000 Morogoro

THAILAND

Marc LATHAM
IBSRAM
PO Box 9-109
Bangkok 10900

Samarn PANICHAPONG
Department of Land Development
Phaholyotin Road
Bangkhen, Bangkok 10900

USA

Pedro SANCHEZ
North Carolina State University
Box 7619 Raleigh NC 27695

ZAMBIA

Lazarous CHILESHE
Soil Survey Unit
PO Box 710072 Mansa

Otto SPAARGAREN
Soil Survey Unit
P Bag 7 Chilanga

APPENDIX IV

GUIDELINES FOR NATIONAL COOPERATOR PROJECT PROPOSALS

The country project proposals (about 10 pages double-spaced) should be:

- Map of the proposed area
- Introduction - significance of the project
- Background
  * brief review of the literature
  * impact of the proposed study on agricultural development and eventually on the advance of general knowledge
  * description of the studied area(s) from an agroecological and socioeconomic point of view
- Identification of the national agency responsible for the project and of the national coordinator scientist
- Details of proposed study
  * rationale
  * objectives and scope
  * methodology
  * implementation schedule and arrangements
- Statement of locally available facilities in terms of
  * experimental fields
  * staff
  * equipment, vehicles
  * laboratories, offices
- Estimate of costs and requirements, including
  * national participation
  * external requirements in terms of equipment, travel, working expenses
  * training and consultancies

The proposed study should be planned taking into account the conclusions and recommendations of the working group reports. Furthermore, the need for consistency of several procedures (experimental designs, laboratory methods) among country projects should be kept in mind.

IBSRAM
BOARD OF TRUSTEES

Dr. C.F. Bentley, (Chairman)
13103-66th Avenue
Edmonton, Alberta
CANADA T6H 1Y6

Dr. R. Fauck
Special Program for African
Agricultural Research
1818 H Street, N.W.
Washington, D.C. 20433
USA

Dr. R.J. Millington
Chief, Division of Water and Land Resources
CSIRO
GPO Box 1666
Canberra ACT 2601
AUSTRALIA

Dr. Christopher R. Panabokke
Consultant/Adviser Ministry of Agriculture
International Institute for Irrigation
Management
Digan Village, via Kandy
SRI LANKA

Dr. Samarn Panichapong
Soil Survey Expert
Department of Land Development
Bangkok 10900
THAILAND

Dr. A. Osman
Director of Soil Science
The Arab Center for the Studies of Arid
Zones and Dry Lands
PO Box 2440, Damascus
SYRIA

Dr. W. Treitz
Deputy Director
ACP-EEC Convention of Lome
BP 380, 6700 AJ Wageningen
THE NETHERLANDS

Dr. F.J. Wang'ati
National Council for Science and Technology
(NCST)
PO Box 30623
Nairobi
KENYA