

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 multiloaux 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 augments 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 PRIVILEGIÉS

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 privilégie 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 différenciation verticale du sol (profil-type), le choix des premiers points d'observation est fondé principalement sur l'analyse de caractères 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, non 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 systèmes 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 échelle 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 extrinsèques. 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 facilitée 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'élaboration du rendement des cultures. Il faudra donc tenir compte aussi des conditions d'ordre climatique, variétal, 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 progression 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 calés 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 Cinquenaire 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 LAMOUREUX, 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.181-191.

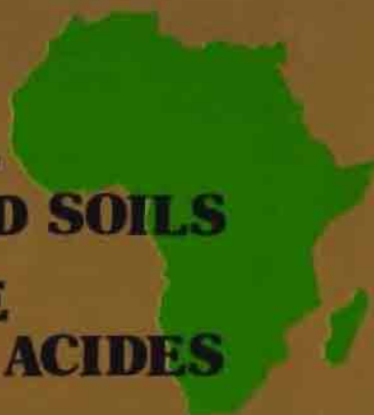
LEPRUN, J.C. 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformation, dégradation. Thèse Sci., Strasbourg. 222p.

NAHON, D. 1976. Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal 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.

LAND DEVELOPMENT- MANAGEMENT OF ACID SOILS

DEFRICHEMENT-MISE EN VALEUR DES SOLS ACIDES



BAROMBI, KANG
- CAMEROON

IBSRAM PROCEEDINGS
ISBN 974-87467-5-5

No. 4

IBSRAM



CRSTOM

**PROCEEDINGS OF THE
FIRST REGIONAL SEMINAR ON
LATERITIC SOILS MATERIALS, AND BRES**

**JANUARY 21-27, 1986
SOUALA, CAMEROON**

**PREMIER SEMINAIRE REGIONAL SUR
LES LATERITES, SOLE, MATERIAUX ET MINERAIS**

**JANVIER 21-27, 1986
SOUALA, CAMEROON**

**PROCEEDINGS OF THE IBSRAM SESSION ON
LAND DEVELOPMENT AND MANAGEMENT OF ACID SOILS IN AFRICA**

**COMPTE RENDU DE LA SESSION IBSRAM SUR LES
BENEFICHIEMENTS ET MISE EN VALEUR DES SOLE ACIDES EN AFRIQUE**

**EDITED BY
M. LATHAM**

IBSRAM

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

The seminar was organized by

LE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR 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
WIRTSCHAFTLICHE 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