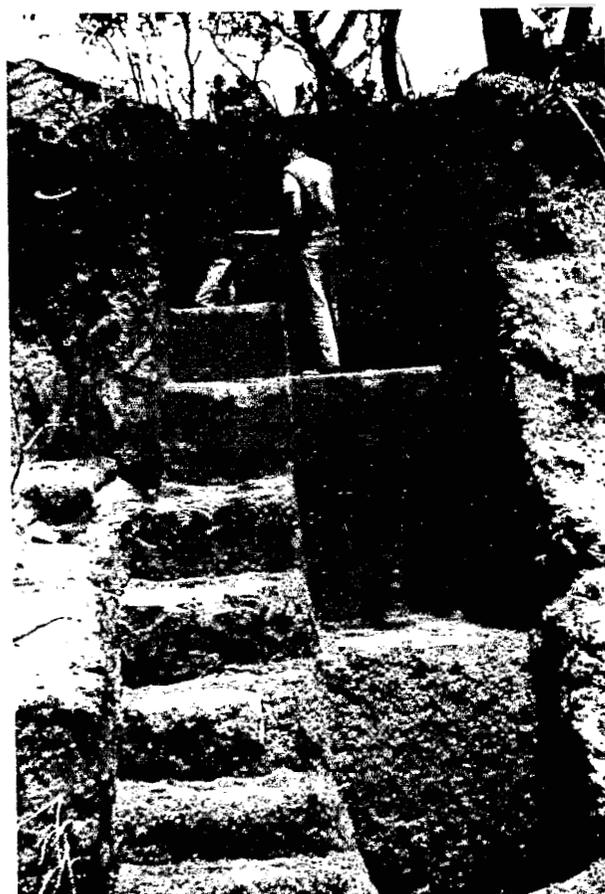


**ORSTOM**

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

**CARACTERISATION D'UN TRANSECT DE SOLS  
DE LA STATION AGRONOMIQUE DE MISAMFU (ZAMBIE)**



*Emmanuel FRITSCH  
Christian VALENTIN*

Pédologues

ORSTOM  
B.P. V-51, ABIDJAN  
COTE D'IVOIRE

décembre 1986

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 24697 ex 1 A

Cote : B 51

Date : 880323

Nota: ce rapport est disponible en anglais.

Photo. de couverture: *Le Dr. Otto van SPAARGAREN décrivant un profil de sol dans la carrière abandonnée.*

**CARACTERISATION D'UN TRANSECT DE SOLS  
DE LA STATION AGRONOMIQUE DE MISAMFU (ZAMBIE)**

*Emmanuel FRITSCH et Christian VALENTIN*

Pédologues à l'ORSTOM<sup>(1)</sup>,  
B.V.-51, ABIDJAN  
COTE D'IVOIRE

**INTRODUCTION**

C'est au cours des travaux du Premier Séminaire Régional de l'IBSRAM<sup>(2)</sup> (DOUALA, janvier 1986) qu'il est clairement apparu que deux approches de caractérisation des sites, loin de s'opposer, pouvaient se compléter:

- la première, la plus classique, consiste à définir des profils types,
- la seconde, préconisée par des pédologues de l'ORSTOM, s'applique à étudier les variations tant verticales que latérales des volumes pédologiques.

Afin de vérifier cette complémentarité, il avait été prévu qu'une équipe de pédologues de l'ORSTOM se rendrait en ZAMBIE, pays hôte du prochain Séminaire Régional. Elle devait y appliquer sa propre démarche sur un site ayant déjà fait l'objet d'une étude pédologique conventionnelle. Ce présent rapport consigne les principaux résultats de terrain acquis lors d'une mission d'une dizaine de jours, effectuée en octobre 1986, sur la station de Misamfu.

---

(1) Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

(2) International Board for Soil Research and Management.

## PRESENTATION GENERALE DE LA STATION DE RECHERCHE DE MISAMFU

Parmi les différents sites possibles, celui de Misamfu présente l'avantage d'être représentatif de la Province du Nord, région choisie par le gouvernement zambien pour concentrer ses efforts en matière de développement agricole.

Cette station, d'une superficie de 426 ha, se situe à 7 km au nord de Kasama, à environ 800 km de Lusaka. Son climat subit l'influence de l'altitude: 1384 m. Ainsi, la température moyenne annuelle n'excède pas 19,8°C bien que la latitude soit de 10°10'sud; des gelées peuvent même, parfois, être enregistrées. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1360 mm. Les pluies se concentrent, sous forme d'orages, de novembre à avril.

Le terrain du Ministère de l'Agriculture occupe le rebord d'un plateau légèrement ondulé, relié, par un versant convexe, à un flat marécageux où coule le marigot Misamfu. Les limites de la station correspondent, au nord, à des affleurements de grès quartzitique.

C'est la zone de plateau qui a été étudiée, plutôt que le versant, ou le bas-fond. C'est en effet en sommet de forme que le dispositif expérimental a été implanté, à proximité des laboratoires.

## LES FORMATIONS GEOLOGIQUES, CUIRASEES ET GRAVILLONNAIRES

Il a paru nécessaire de préciser, en premier lieu, la nature du substrat géologique. A cet égard, les deux carrières, situées sur le plateau, à l'est de la station, qui correspondent à des excavations de 7 m de profondeur, et de 100 à 300 m de côté, apportent deux séries d'informations: les premières ont trait aux formations géologiques, les secondes à l'individualisation des formations cuirassées, à leur localisation dans le plateau et à leur dégradation.

## OBSERVATIONS AU NIVEAU DE LA CARRIERE EXPLOITEE

La partie orientale de la carrière qui est toujours exploitée présente une succession de quatre ensembles (fig.1) qui correspondent successivement du bas vers le haut:

- au grès quartzitique,
- à un ensemble gravillonnaire inférieur,
- à un ensemble cuirassé,
- à un ensemble gravillonnaire supérieur.

Le grès quartzitique, altéré dans sa partie supérieure (arène sableuse, friable, blanche à rose pâle) est diaclasé. Les diaclases contiennent un matériau rouge à rouge violacé, clay loam<sup>(3)</sup>. Les parois de ces diaclases sont plus vivement colorées.

L'ensemble gravillonnaire inférieur comprend deux horizons. Le premier, directement sus-jacent à l'arène quartzitique, contient des gravillons de grande taille (6 cm), jointifs, en forme de savonnette. Ces gravillons sont le plus souvent orientés, dans le sens de leur plus grande longueur, suivant des lignes flexueuses. Ces dernières sont parallèles à la limite supérieure de l'arène quartzitique. Après cassure, tous les gravillons présentent un faciès schisteux: coloration rouge violacé, grains fins, débit en fines plaquettes dans le sens de l'allongement des "savonnets". La matrice meuble intergravillonnaire est peu abondante, microagrégée, rouge violacé (10 R), clay loam. Cet horizon est relayé vers le haut par un deuxième horizon gravillonnaire qui en diffère par:

- la disparition des orientations flexueuses: les gravillons coalescents ne sont plus alignés,
- l'apparition dans sa partie supérieure de gros blocs de cuirasse,
- un éclaircissement, du bas vers le haut, de la matrice meuble rouge (2,5 YR à 5 YR), fortement microagrégée, sandy clay.

L'ensemble cuirassé a un faciès lamellaire. Ce faciès est dû à la superposition de pores tubulaires à planiques sensiblement parallèles à la surface topographique. Après cassure, les lamelles présentent un faciès identique à celui des gravillons qui surmontent ou qui sont sous-jacents à la cuirasse: coloration rouge violacé à rouge foncé, grains fins, localement liserés blancs ou plages jaune ocre à brun foncé. Cette cuirasse est fissurée dans ses parties inférieure et supérieure. Deux caractères majeurs sont hérités de la roche:

---

(3) : dans la mesure où c'est le triangle textural américain (USDA) qui a été utilisé sur le terrain, il n'a pas paru nécessaire de le traduire en français, d'autant que les termes ne sont pas rigoureusement équivalents.

- des reliques de schiste en forme de plaquettes parallélépipédiques, orientées dans le sens des lamelles,
- des fissures subverticales d'échelle métrique, à parois lissées cortifiées correspondant très probablement à d'anciennes diaclases du schiste.

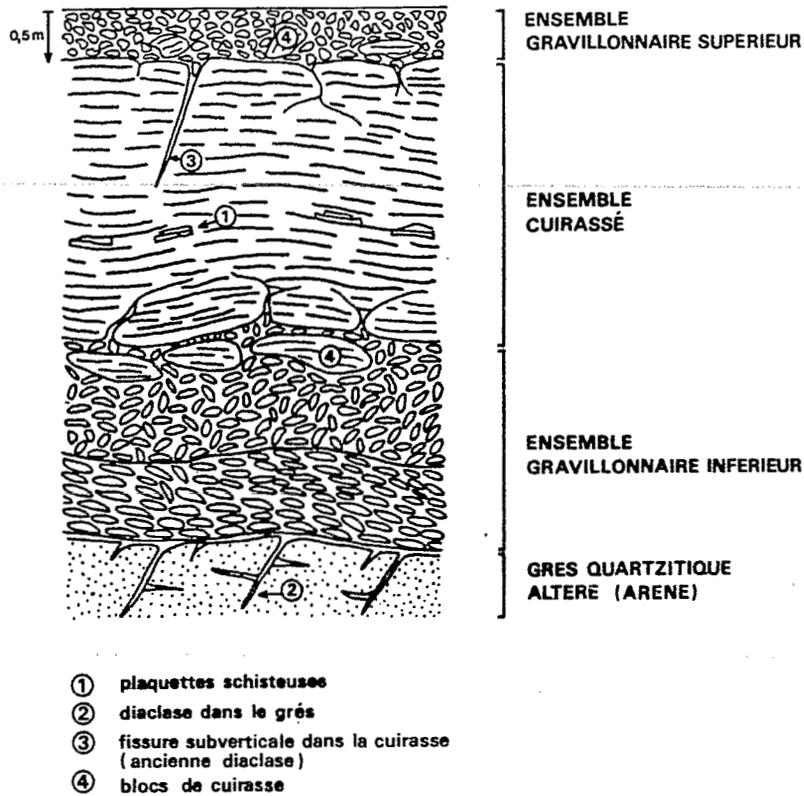


FIG. 1: COUPE DE LA CARRIÈRE EXPLOITÉE

L'ensemble gravillonnaire supérieur présente à sa base des blocs de cuirasse. Aux gravillons sont associés quelques plaquettes schisteuses. La matrice meuble est brun noir (0-20 cm) à brune (20-50 cm), loamy sand à sandy loam.

De ces observations, nous en déduisons:

- que le grès quartzitique est surmonté par des formations schisteuses, ces dernières ayant une foliation sensiblement parallèle à la surface topographique,
- que le cuirassement s'est développé dans les formations schisteuses. Débutant à l'interface grès quartzitique-schiste, il a présenté une extension verticale remontante. Ce cuirassement a conservé, à des degrés variés, les textures (plaquettes schisteuses) et les structures (foliations, diaclases) lithologiques. De même, les phénomènes de dissolution qui sont à l'origine du faciès lamellaires de la cuirasse ont été guidés par les structures du schiste,
- que la cuirasse se démantèle aussi bien dans sa partie supérieure qu'inférieure. Elle alimente l'ensemble gravillonnaire qui devient exclusif dans la partie ouest de la carrière. Cet ensemble peut alors atteindre 7 m de profondeur et reste toujours affleurant à subaffleurant.

#### OBSERVATIONS AU NIVEAU DE LA CARRIERE ABANDONNEE

L'observation de cette carrière apporte plusieurs informations supplémentaires (fig.2). La limite supérieure du grès quartzitique apparaît ondulée.

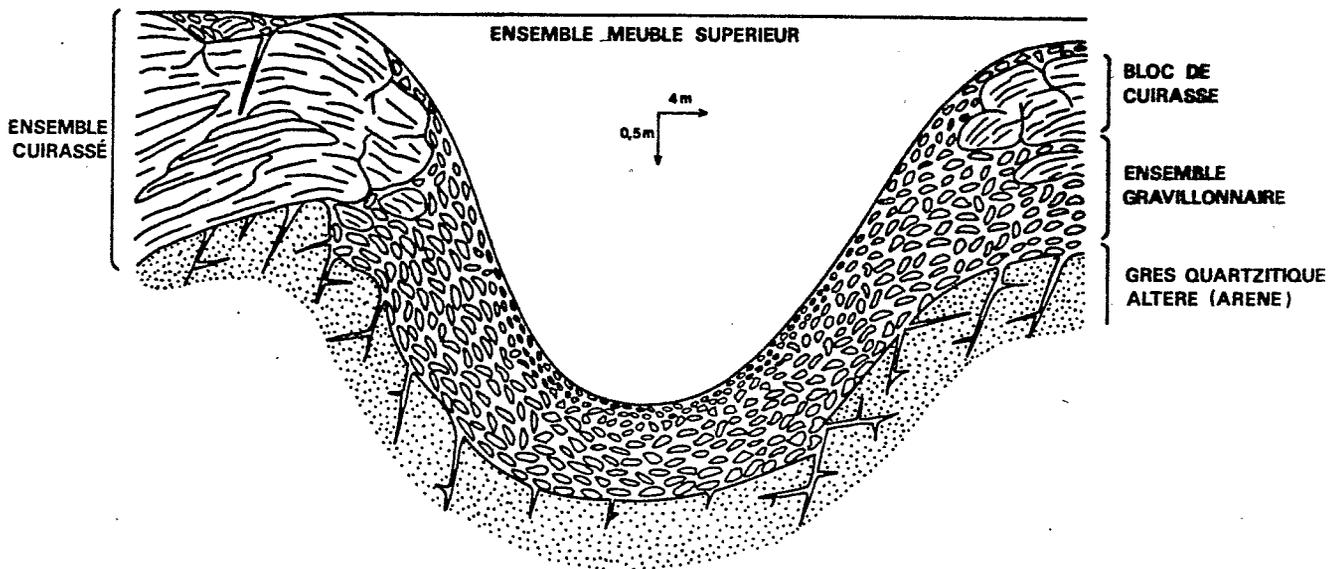
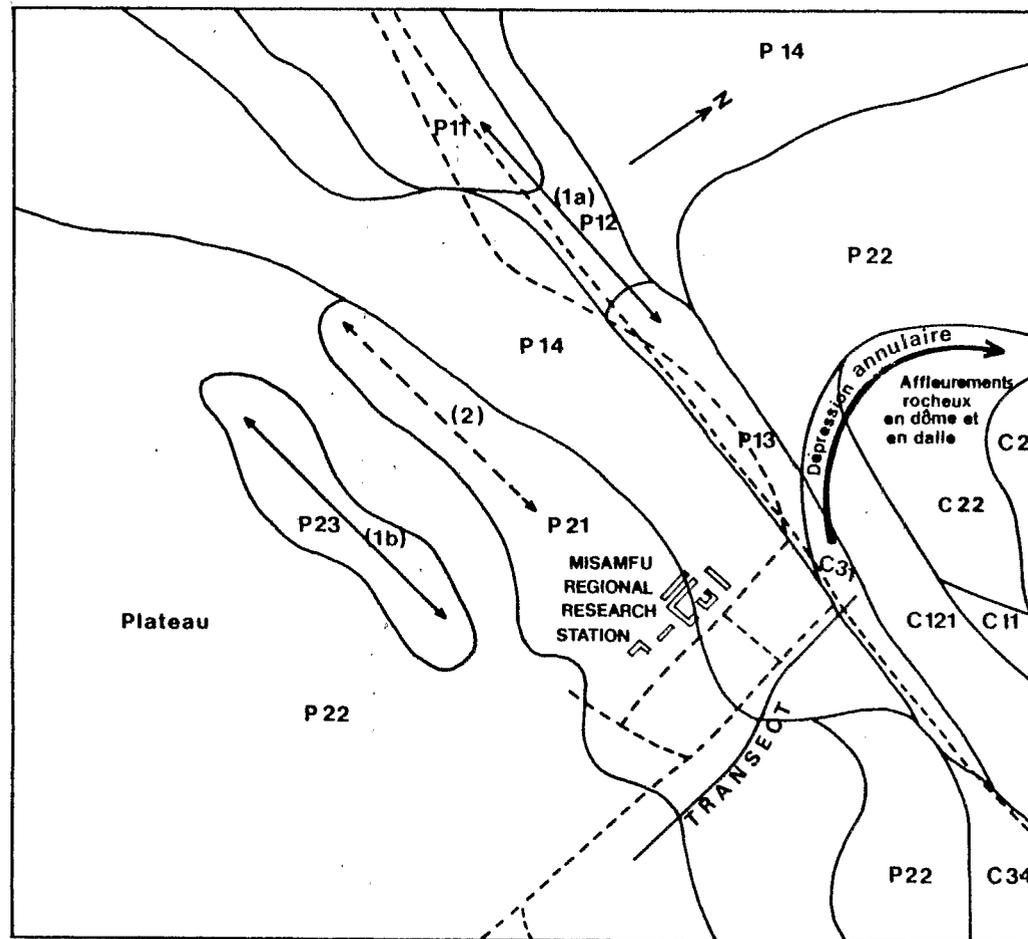


FIG. 2 : COUPE DE LA CARRIERE ABANDONNEE

FIG. 3 : EXTRAIT DE LA CARTE DES SOLS DE L.A. VAN SLEEN (1976) ET PRINCIPALES ORIENTATIONS STRUCTURALES



0 100 200 300 400 500 m

**Affleurement rocheux**

- C11** Affleurement de grès quartzitique
- C121** Milima "loamy sand" avec quelques affleurements rocheux
- C21** Dalle de grès quartzitique
- C22** Mulobola "loamy sand" avec de nombreux affleurements rocheux
- C31** Lubura "sand" avec quelques affleurements rocheux
- C34** Milima "loamy sand"

**Sols rouges sur crête peu marquée (plateau)**

- P11** Nsato "sandy loam" gravillonnaire
- P12** Chinsali "sandy loam"
- P13** Chinsali "sandy loam", moyennement profond, quelques rares affleurements rocheux
- P14** Kasama "sandy loam"

**Sols brun jaunâtre (plateau légèrement ondulé)**

- P21** Mufulira "sandy clay loam"
- P22** Misamfu "sandy loam"
- P23** Misamfu "sandy loam" peu profond, quelques affleurements rocheux

**ORIENTATIONS DES UNITES DE SOLS EN RELATION AVEC LES ONDULATIONS DU SOCLE**

- (1) Zone de remontée du socle, (1a) avec formation gravillonnaire (épaisse et associée aux cuirasse à l'Est) (1b) sans formation gravillonn.
  - (2) Dépression du socle
- Ondulation du socle : période = 250m, amplitude = 7m

I  
S  
I

Les formations cuirassées ne s'observent que sur les dômes convexes, zones où le grès quartzitique est le plus proche de la surface du sol. La cuirasse peut être exclusive et affleurante ou être relayée dans sa partie supérieure par un ensemble gravillonnaire. Les gravillons ont le plus souvent un faciès schisteux mais parfois aussi un faciès gréseux ou un faciès mixte. Des observations réalisées au niveau des cuirasses montrent qu'il peut exister des intercalations de grès dans le schiste.

Dans les dépressions, le grès quartzitique est relayé vers le haut par un ensemble gravillonnaire. Cet ensemble, généralement moins épais (1-2 m), a des gravillons de plus petite taille, principalement dans sa partie supérieure (nodules millimétriques), et des cutanes d'illuviation. Il est surmonté par un ensemble meuble supérieur de 2 à 4 m d'épaisseur, appauvri (loamy sand à sandy clay loam), de couleur rouge pâle (7,5 YR, 5 YR) à rouge vif (2,5 YR).

Enfin, au niveau de la carrière, les zones de remontée du grès quartzitique et de ce fait d'affleurement des cuirasses et des gravillons ont une direction générale de 40 degrés. Les ondulations sont distantes de 60 m.

## LA DIFFERENCIATION VERTICALE ET LATÉRALE DES SOLS DANS L'ENSEMBLE MEUBLE SUPÉRIEUR

### OBSERVATIONS DU DOCUMENT CARTOGRAPHIQUE

Sur le plateau, le document cartographique établi par L.A. VAN SLEEN en 1976 (fig.3) présente une succession d'unités de sols dont certaines apparaissent nettement allongées dans la direction est-ouest. Ces dernières peuvent correspondre:

- soit à des zones de remontée du grès quartzitique. Il en existe deux sur la carte. Il s'agit respectivement des unités P11, P12, P13, C31 pour l'axe la et P23 pour l'axe lb. Ces zones de remontée du socle sont surmontées soit par des formations cuirassées et gravillonnaires épaisses à l'est de l'axe la (partie du plateau la plus élevée en altitude), soit par des formations gravillonnaires peu épaisses, voire absentes, à l'ouest de l'axe la et sur l'axe lb. Dans ces derniers cas, les affleurements rocheux sont fréquents,

- soit à des dépressions du grès quartzitique. Ce grès est surmonté par des formations schisteuses beaucoup plus épaisses qui ont abouti par altération et pédoturbation à l'individualisation de sols plus argileux (axe 2, unité de sols P21).

Ce document et les observations réalisées dans les carrières montrent dès à présent le rôle déterminant des formations et des structures lithologiques sur la distribution spatiale des sols. Dans la majeure partie des cas, les sols sont issus de l'altération des schistes et non pas du grès quartzitique. Ce dernier par ses ondulations, distantes de 500 m sur le document cartographique, est à l'origine de la zonation des sols.

#### IMPLANTATION DU TRANSECT

Le transect retenu est long de 485 m. Il est situé sur le plateau, à proximité des bâtiments de la station agronomique de MISAMFU. Débutant au nord, au niveau d'un affleurement rocheux de grès quartzitique, il recoupe perpendiculairement quatre unités de sols, définies comme suit par L.A. VAN SLEEN:

- LUBWA sand, avec quelques affleurements rocheux (C31)
- KASAMA sandy loam (P14)
- MUFULIRA sandy clay loam (P21)
- MISAMFU sandy loam (P22).

Ces quatre unités représentent respectivement 0,4%, 9,2%, 4,9% et 32,6% de la surface totale cartographiée (426 ha), les trois dernières unités étant les plus fréquemment cultivées.

#### DIFFERENCIATION VERTICALE ET LATÉRALE DES SOLS SUR LE TRANSECT

Le transect (fig.4) recoupe perpendiculairement une ondulation du socle. Ce dernier, constitué d'un grès quartzitique, affleure à l'amont. Il est atteint à 4 m de profondeur à l'aval. Dans la partie médiane du transect, le grès quartzitique est surmonté par des formations schisteuses, meubles et altérées dans leur partie supérieure (clay loam à toucher sériciteux, lits horizontaux rouge violacé à rouge vif, veines jaune terne à blanches). Un mince lit gravillonnaire (de 2 à 20 cm d'épaisseur) apparaît au-dessus de ces formations gréseuses et schisteuses. Les gravillons sont généralement aplatis et à faciès schisteux, même lorsqu'ils sont directement en contact avec le grès quartzitique. A l'amont du transect, l'horizon gravillonnaire très peu épais (2cm) est localisé dans les plans de fissuration et de diaclase du grès.

L'ensemble meuble supérieur a une épaisseur moyenne de 7 m dans la partie médiane du transect. A ce niveau et à l'aval, il présente à sa base de légères marques d'hydromorphie (horizon à taches jaunes sur fond rouge de 10 à 30 cm d'épaisseur).

Dans cet ensemble, une succession de gradients texturaux, structuraux et de coloration peut être mise en évidence. Comme

nous allons le voir, ces gradients sont la résultante de trois transformations principales qui confèrent à l'ensemble meuble supérieur son organisation actuelle.

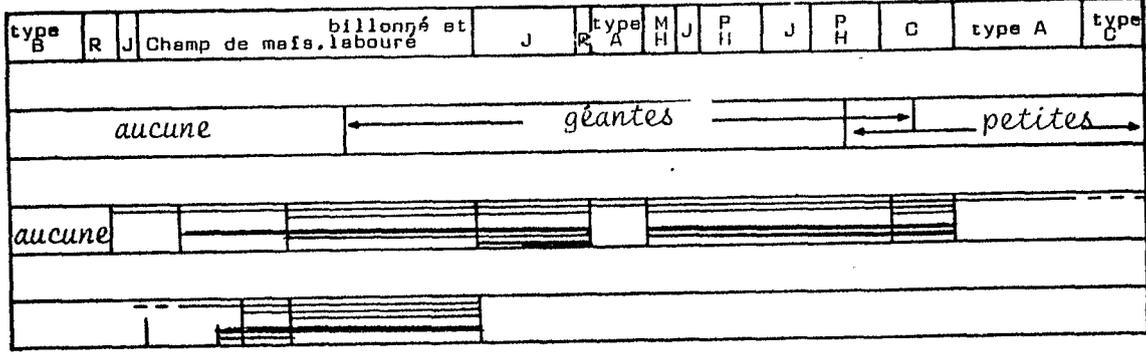
#### TRANSFORMATION A L'AMONT DU TRANSECT (profils 1 à 9)

Latéralement de l'amont vers l'aval, les sols présentent un gradient textural et structural (de sand à loamy sand, de bouillant à clay à structure polyédrique subanguleuse grossière). Un ventre argileux apparaît à l'aval (profils 8 à 9). Dans la zone de transition (profils 4 à 7), des cutanes s'observent au-delà d'un mètre de profondeur dans des horizons microagrégés. Les sols sont rouges sauf dans leur partie supérieure et à l'amont (principalement à proximité de l'affleurement rocheux) où ils deviennent jaunes. Ces différenciations latérales résultent vraisemblablement d'un départ d'argile (et dans une moindre mesure du fer) à l'amont, et de son accumulation à l'aval sous forme de cutanes. Elles caractérisent de ce fait un système éluvial-illuvial. L'éluviation serait à l'origine de l'inversion topographique dans la partie la plus appauvrie du système: le point culminant du transect se situant au niveau du profil 5. En étant particulièrement active dans un axe perpendiculaire à celui du transect, elle serait également à l'origine de la dépression annulaire, localisée au pied de l'affleurement rocheux (fig.3 et 4). Plusieurs microtransects radiaux à cet affleurement (des parties hautes vers les parties les plus déprimées) permettraient de vérifier cette hypothèse.

#### TRANSFORMATION DANS LA PARTIE MEDIANE DU TRANSECT

Cette transformation s'amorce entre les profils 9 et 10. Elle se traduit par un éclaircissement des sols (de rouge 5 YR à brun 7,5 YR) et se réalise sans modification texturale et structurale. En se développant à partir de la surface, elle s'accroît en profondeur et vers l'aval (épaississement des horizons bruns, apparition d'un niveau jaune dans les horizons humifères pour les profils 13 et 15, puis également dans les horizons minéraux sur 2,5 m dans le profil 16). Cet éclaircissement du sol est généralement attribué à un appauvrissement croissant en fer vers l'aval et à une modification des formes de fer (hématite dominante dans les sols rouges, goéthite dominante dans les sols jaunes). Cette transformation serait induite par des modifications du comportement hydrodynamique des sols (CHAUVÉL, 1977) et plus particulièrement à un accroissement vers l'aval des écarts hydriques saisonniers et intersaisonniers.

Végétation et utilisation du sol



R: route  
J: jachère  
M: maïs

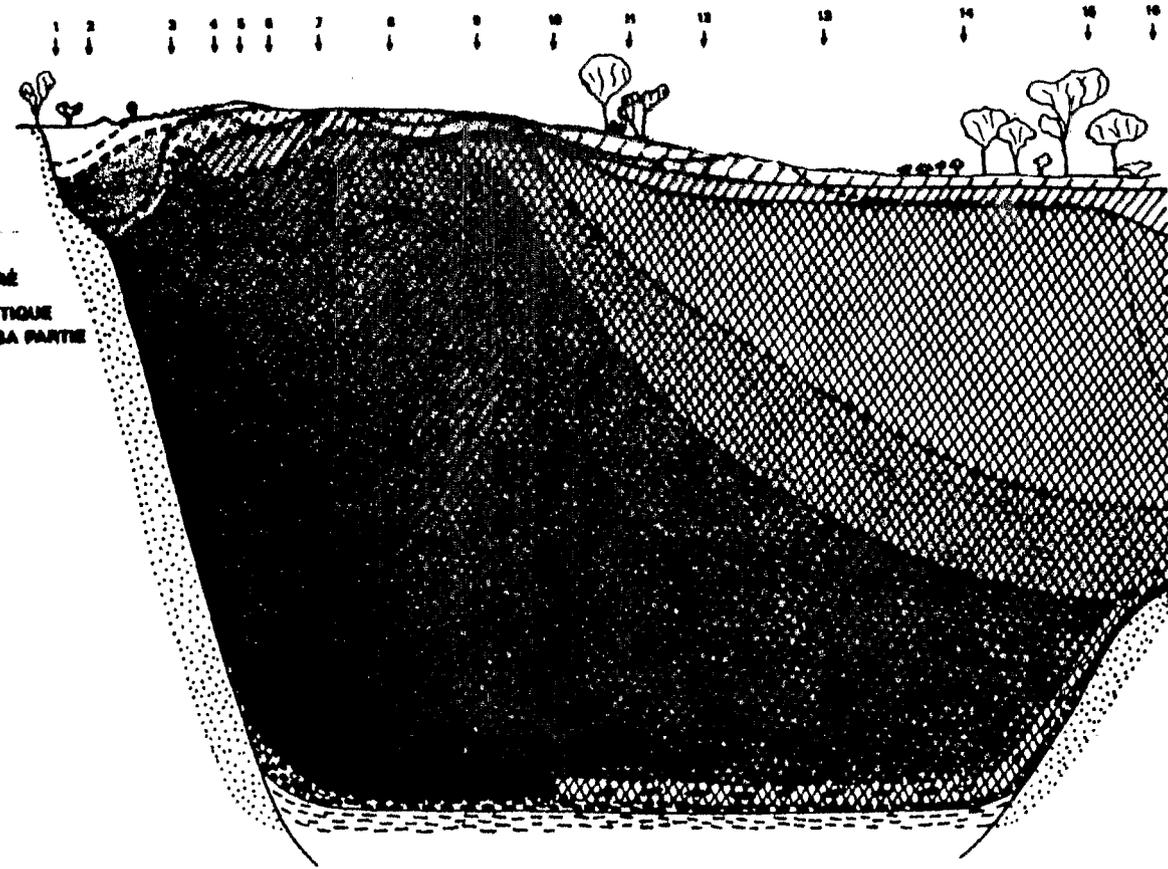
P: pois  
H: travaillé à la houe

C: zone coupée à blanc  
types de végétation: cf. Tab.2

— pellicule structurale  
— pellicule de dépôts  
— lissage  
— semelle de labour

niveau de contrainte  
- - - - - très faible  
— faible  
— modéré  
— fort

Discontinuité au sein du profil cultural



GRAVILLONS  
SCHISTE ALTÉRÉ  
GRES QUARTZITIQUE ALTÉRÉ DANS SA PARTIE SUPÉRIEUR

Texture Couleur

LS 10 YR  
SL 7,5 YR  
SCL 5 YR  
SC 2,5 YR  
Ca CL 10 R

Echelle top. Horizontaux Végétation

30m  
1m 0,5m 0,5m

## TRANSFORMATION A L'AVAL DU TRANSECT

Cette dernière transformation apparaît à 1,4 m de profondeur au niveau du profil 14. Elle correspond à l'apparition d'une structure fortement microagrégée. Par son enveloppe la plus externe, le niveau défini par cette structure se rapproche de la surface à l'aval et devient affleurant dans le dernier profil (16). Dans ce niveau les traces d'activité faunique dues aux termites sont très nombreuses. Il est difficile actuellement de préciser si cette activité termitique est, à elle seule, à l'origine de cette structure ou si d'autres paramètres sont susceptibles d'intervenir (légère modification texturale,...). En revanche, les horizons qui relayent ce niveau vers le haut et vers l'amont présentent une structure mixte, polyédrique subanguleuse moyenne à grossière associée à une structure microagrégée dans les pores tubulaires ou entre les polyèdres (microagrégats plus moins coalescents). Ces horizons pourraient, de ce fait, être issus de la dégradation de la structure microagrégée.

## CONCLUSION

Si la majeure partie des sols du plateau de la station agronomique de MISAMFU semble être issue de l'altération des schistes, la zonation des sols est, à l'inverse, fortement influencée par les ondulations de la roche qui lui est sous-jacente. Cette dernière, constituée de grès quartzitique, plus difficilement altérable, affleure en différents lieux sur le plateau.

Cuirassement et dégradation des formations cuirassées sont successivement intervenus. Les cuirasses, peu nombreuses, se sont individualisées dans les formations schisteuses et dans les zones où le grès quartzitique est le plus proche de la surface du sol. Elles sont alignées suivant une direction est-ouest, direction perpendiculaire aux ondulations du socle. Par dégradation, ces cuirasses ont donné successivement un ensemble gravillonnaire puis un ensemble meuble supérieur. Ce dernier est généralement épais sur la majeure partie du plateau. Ceci laisse supposer soit que les processus de cuirassement ont été limités dans l'espace, soit, à l'inverse, que la dégradation des formations cuirassées a été très poussée.

L'ensemble meuble supérieur a lui-même subi une succession de transformations qui confère aux sols leur différenciation actuelle. Ces transformations ont été, elles aussi, guidées par les ondulations du socle et par les affleurements rocheux les plus importants du plateau. Lors de notre prospection, nous avons pu en recenser trois qui peuvent être reliées aux trois systèmes suivants:

- système éluvial-illuvial à l'amont,
- système déferruginisant à évolution goethitique en position médiane,
- système aboutissant soit à la formation soit à la dégradation d'une structure micropédique à l'aval.

## LES ETATS DE SURFACE ET LES PRINCIPALES CONTRAINTES PHYSIQUES

Le couvert végétal, l'activité faunique, les organisations pelliculaires superficielles, les discontinuités au sein du profil cultural, ces diverses composantes sont généralement révélatrices de contraintes édaphiques. Dès lors, elles doivent être étudiées au cours de la caractérisation d'un site expérimental, d'autant que, le plus souvent, elles ne peuvent pas se déduire directement de la seule analyse de la couverture pédologique. Aussi, avons-nous complété l'étude proprement pédologique par celle des variations, le long du transect, des états de surface<sup>(4)</sup> et du profil cultural.

### LE COUVERT VEGETAL

#### Objectifs et méthodes

Lors de la caractérisation d'un site, l'étude des variations latérales du couvert végétal doit répondre à un double objectif:

- mettre en évidence les sols qui présentent, en conditions naturelles, les moindres contraintes, et probablement la meilleure fertilité,
- établir les éventuelles relations entre les limites pédologiques et végétales, afin de faciliter les travaux cartographiques.

Le long du transect, la savane boisée a été en partie défri-chée pour la mise en place des parcelles d'essai. Où le couvert subsiste, il est sérieusement perturbé par la coupe de bois, comme en témoignent les nombreuses souches et branches émondées. En dépit de ces conditions peu favorables à l'application de la méthode, plusieurs paramètres ont été relevés:

---

(4) Le terme "état de surface" recouvre le couvert végétal et les organisations pédologiques typiquement superficielles.

- la densité des ligneux, distribuée selon quatre strates,
- le type de couvert herbacé défini par sa continuité et par le microrelief qui lui est associé: plan, ou en touradons, c'est-à-dire en touffes développées sur des monticules de 2 à 5 cm de haut,
- le pourcentage de recouvrement total, et celui assuré par chaque type de couvert: ligneux, herbacé et litière (estimation visuelle).

Les grands types de couvert

Le tableau 1 regroupe les principales données de terrain.

TABLEAU 1 - Divers paramètres de végétation et de couverture du sol

| Site (n°) | Nombre d'arbres par strate pour 1.000 m <sup>2</sup> |      |       |      | Couverture du sol (%) |          |         |        |
|-----------|--|------|-------|------|-----------------------|----------|---------|--------|
|           | 0-2m   | 2-5m | 5-10m | >10m | ligneuse              | herbacée | litière | totale |
| 2         | 10   | 20   | 4     | -    | 3                     | 100      | 30      | 100    |
| 11        | 60   | 10   | 40    | -    | 35                    | 3        | 80      | 95     |
| 14        | 250  | -    | -     | -    | 30                    | 20       | 20      | 70     |
| 15        | 200  | 50   | 16    | 2    | 20                    | 30       | 80      | 95     |
| 16        | 5  | 5    | 4     | -    | 7                     | 30       | 80      | 95     |

Du fait d'une coupe à blanc, réalisée il y a quelques années sur le site N°14, son couvert ligneux doit être considéré isolément: il n'est constitué que de rejets. Insuffisamment protégée, la surface du sol s'est encroûtée, constituant ainsi un obstacle à la levée des plantules tant ligneuses qu'herbacées. Des plages circulaires de 3 m de diamètre, totalement dépourvues de végétation, se sont alors individualisées; ces taches stériles représentent environ 30% de la surface totale.

Parmi les peuplements ligneux, deux grands types peuvent être distingués. Le premier regroupe des petits arbres assez dispersés. A l'inverse, le second type comprend une gamme plus large de strates, des grands arbres jusqu'au sous-bois dense.

Comme, en outre, trois types de couvert herbacé ont été identifiés ce sont finalement trois grands ensembles de couvert végétal qui ont été retenus (tableau 2).

TABLEAU 2 - Principaux types de couvert végétal

| Type végétal | Site     | Arbres | Strate herbacée | Microrelief |
|--------------|----------|--------|-----------------|-------------|
| A            | 11-14-15 | grands | discontinue     | plan        |
| B            | 2        | petits | continue        | plan        |
| C            | 16       | petits | discontinue     | à touradons |

#### Relations avec les unités de sol

Une assez bonne relation a pu être établie entre ces trois types de couvert et les variations de la couverture pédologique (fig.4):

- Les deux types B et C, dont les arbres sont de petite taille, correspondent aux zones de remontée du grès quartzitique, à l'amont et à l'aval du transect. Ils diffèrent par leur couvert herbacé: continu et sans microrelief lorsque les horizons superficiels sont très éluviés (LUBWA sand), en touffes discontinues sur touradons lorsque la texture des horizons superficiels est plus lourde (MISAMFU sandy loam).
- Le type de couvert A semble associé aux sols profonds qui se développent entre deux ondulations du grès (MUFULIRA sandy clay). Le sous-bois est trop dense pour que le tapis herbacé soit continu et les horizons de surface trop légers pour donner lieu à la formation de touradons. Il est probable que c'est ce type de végétation qui, également, est le plus fréquent sur la série KASAMA sandy loam. Mais comme cette partie du transect est cultivée, il n'a pas été possible de s'assurer de cette relation.

On retiendra surtout, pour d'éventuelles prospections ultérieures, que la hauteur des arbres reflète la profondeur d'apparition du grès, et que la présence de touffes sur touradon indique des horizons de surface assez lourds (au moins sandy clay loam).

## LES TERMITIERES

### Les grands types

Parmi les constructions fauniques, les termitières sont très probablement celles qui présentent le moins de difficulté à repérer et à relier aux variations de la couverture pédologique. Un non spécialiste est en mesure de différencier les deux grands types de termitières présentes sur le transect:

- les premières présentent un dôme surbaissé, d'1,5 m de haut et de 20 m de diamètre. En conditions naturelles, ces nids géants favorise le couvert ligneux, plus dense que la végétation environnante. Sous culture, cette forme très particulière de mésorelief reste aisément perceptible. La distance entre ces termitières varient de 40 à 60 m,
- les dimensions des termitières du deuxième type sont nettement plus modestes. Il s'agit de nids de forme quasi-cylindrique, dont la hauteur n'excède pas 40 cm et dont le diamètre basal varie entre 15 et 35 cm. Le long du transect la distance moyenne entre les nids décroît de 15 m (site 14) à 2 m (site 16). La taille et la forme de ces termitières évoquent celles que construisent généralement les *Trinervitermes* spp.

Par ailleurs, de nombreuses termitières souterraines ont été observées dans les fosses ouvertes le long du transect. L'activité de récolte des termites peut ainsi se manifester en dehors des zones à termitières épigées.

### Distribution des termitières et relations avec les sols

En se limitant aux seules termitières épigées, il est possible de distinguer quatre zones le long du transect:

- Sans termitière épigée (sites 1 à 7). Il est probable que cette absence soit à attribuer à la texture très légère des sols de l'amont du transect (sites 1 à 3). Pour les sites suivants (4 à 7) cette hypothèse ne peut plus être avancée. Peut-être faut-il y voir l'effet de l'arasement lié à la présence, en ce lieu, d'un ancien terrain de football?
- Termitières géantes (sites 8 à 13). Les limites de cette zone correspondent peu ou prou à celles des sols argileux profonds (MUFULIRA sandy clay loam)
- Termitières géantes et petites (sites 13 et 14). Les deux types de termitières coexistent dans la zone de remontée du sol (transition entre les séries MUFULIRA sandy clay loam et MISAMFU sandy loam).
- Petites termitières (sites 15 et 16). Ce type de termitière semble associé aux sols argileux moins profonds (MISAMFU sandy loam). Comme nous l'avons déjà mentionné, la structure microagrégée de ces sols jaunes pourrait être, au moins en partie, induite par l'intense activité termitique

(7 termitières/100 m<sup>2</sup>, sur le site 16). Plus établie est l'importance majeure de l'activité de récolte sur la perforation des pellicules superficielles (photo.1). Il est à noter également que ce type de termitière est connu pour s'établir généralement sur des sols pauvres. Leur abondance en cette partie du transect pourrait refléter des taux de saturation en bases particulièrement bas.

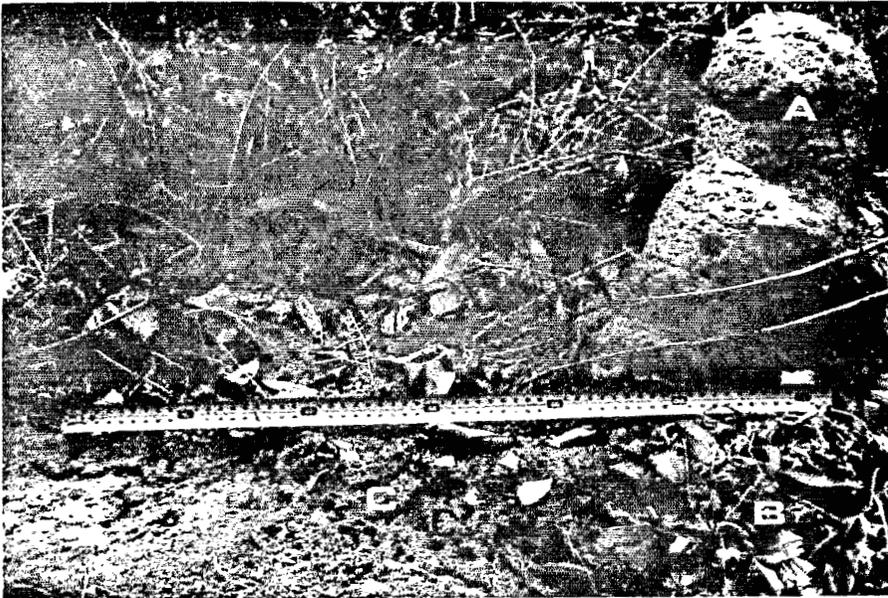


Photo.1 - Petite termitière (A), placages de récolte associés à la litière (B), perforation par les termites de la pellicule structurale fine située sous la litière (C); site n°15.

Comme pour la végétation, l'intérêt porté à la distribution des termitières peu s'avérer utile pour préciser certaines variations pédologiques. Nous avons vu, en effet, qu'il existait, le long de ce transect une correspondance entre caractères édaphiques et types de termitières.

#### PRINCIPALES CONTRAINTES PHYSIQUES

##### Objectifs et méthodes

Dans le domaine agricole, les contraintes physiques peuvent s'avérer tout autant limitantes que les contraintes chimiques. C'est pourquoi la caractérisation d'un site doit inclure l'étude des risques de dégradations physiques: formation de pellicules superficielles, érosion, lissages, et semelles de labour.

Afin de répondre à cet objectif, 15 profils, profonds de 30 à 60 cm, ont été étudiés en détail. Chaque forme de contrainte

physique a été décrite et dessinée sur le terrain en en relevant soigneusement les coordonnées selon un plan vertical. Dix de ces profils correspondent à des conditions cultivées (profils culturaux), les cinq autres à des conditions naturelles. Douze de ces profils ont été étudiés le long du transect, deux à proximité de la carrière abandonnée, un autre, non loin de la deuxième fosse de référence (Benchmark Project).

Comme le montre la figure 4, chaque forme de dégradation physique a été étudiée séparément. Leur intensité a été appréciée selon cinq niveaux: aucune, très faible, faible, modérée, forte. Il est clair qu'une telle démarche, fondée exclusivement sur des critères morphologiques, devrait être complétée par l'étude de lames minces et par des mesures physiques. Toutefois, une telle approche, même sommaire, permet la mise en évidence de tendances.

### Les pellicules de surface

Trois grands types de pellicules peuvent être brièvement définies:

- les pellicules structurales : elles sont constituées de particules non triées, désordonnées, qui forment un microhorizon rigide à l'état sec. Lors des premiers stades de formation, elles incluent des reliques d'agrégats, permettant ainsi le maintien d'une certaine rugosité. Par la suite, ces agrégats se fondent dans la pellicule, à commencer par les plus petits, laissant ainsi la surface lisse, favorable à l'apparition du ruissellement et de l'érosion (photo 2). Pour les surfaces particulièrement appauvries, la différenciation verticale est plus poussée que dans le cas précédent. La disjonction plasma-squelette s'opère dès les premiers stades de formation. Pour les formes les plus évoluées, il est possible de distinguer, même sur le terrain, trois microhorizons: le premier à partir de la surface est constitué de sables grossiers, lâches et lavés, le second comprend des sables fins, lavés et légèrement pris en masse, le troisième correspond à un niveau de concentration de plasma. Des vésicules d'air apparaissent fréquemment à la limite des deux derniers micro-horizons.

- les pellicules de dépôts: il s'agit d'un empilement de lamines bien triées. Elles se forment lors de l'apparition du ruissellement. Ces organisations litées, qui s'individualisent au-dessus des pellicules structurales, indiquent que la compétence du ruissellement a été assez élevée pour assurer le transport des particules détachées, mais pas suffisamment pour provoquer leur exportation en dehors de la parcelle (érosion).

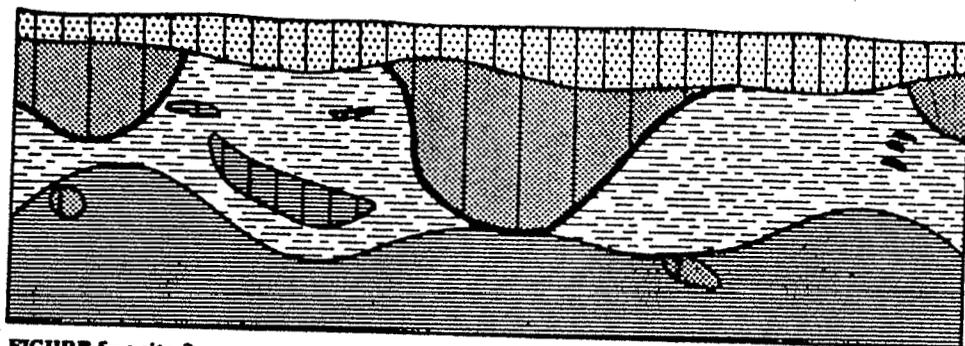


FIGURE 5a : site 2

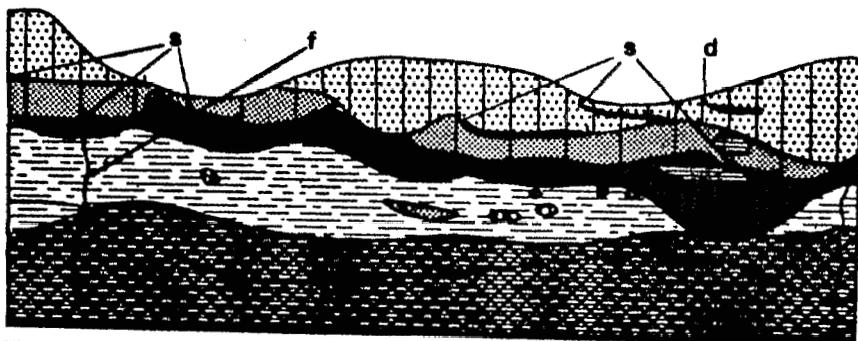


FIGURE 5b: site 5

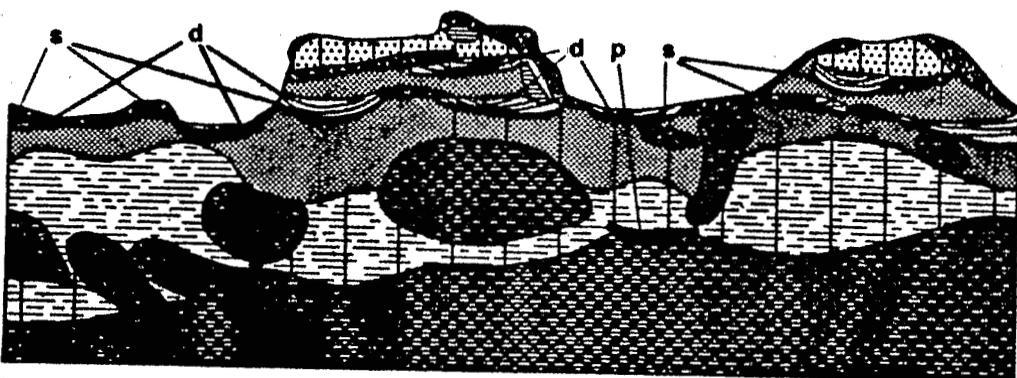


FIGURE 5c: site 7

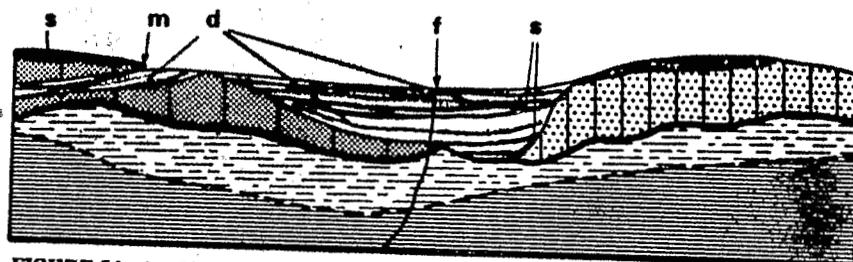


FIGURE 5d: site 10

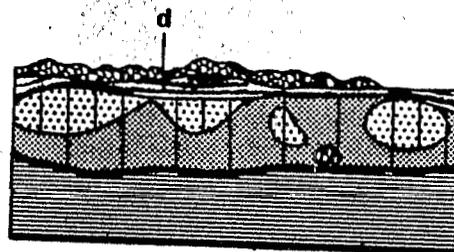


FIGURE 5e: entre les sites 11 et 12

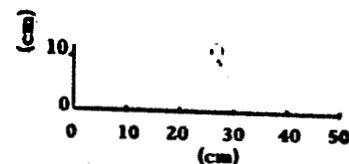


FIGURE 5 : EVOLUTION DU PROFIL CULTURAL LE LONG DU TRANSECT

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  | horizon B  |  | cavité d'origine fongique, ou en surface, placage de récolte de termites |
|  | horizon A/B  |  | pellicule structurale peu évoluée  |
|  | horizon peu pénétré par les racines                        |  | s pellicule structurale évoluée à concentration plasmatique              |
|  | horizon peu meuble mais assez bien pénétré par les racines |  | d pellicule de dépôts  |
|  | horizon très meuble à chevelu racinaire                    |  | fortement organique  |
|  | transition diffuse   |  | moyennement organique  |
|  | transition abrupte   |  | compact  |
|  | fente  |   |  |
|  | m micromarche (érosion en nappes)                          |   |  |

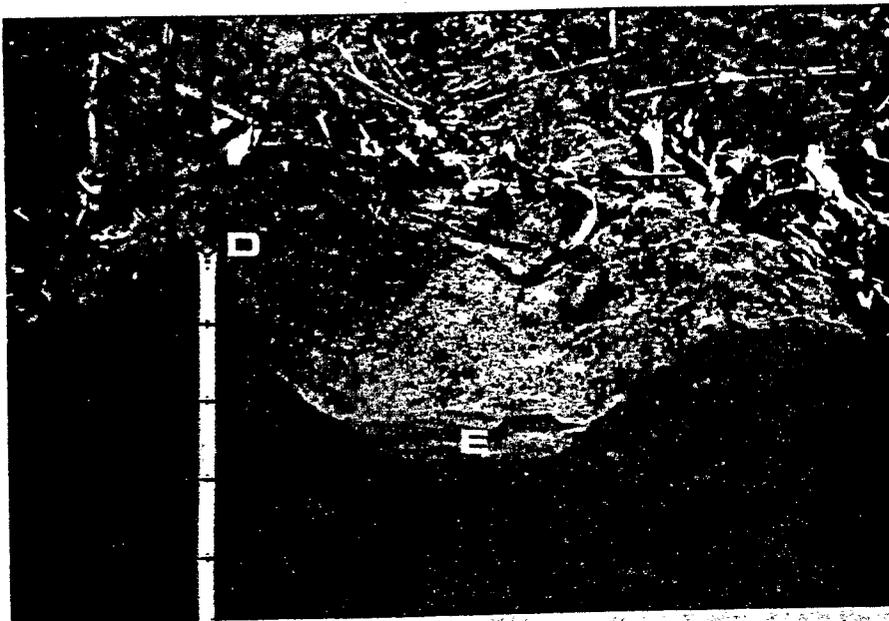


Photo. 2 - Parcelle de maïs billonné. Alors qu'au sein des billons les radicelles sont nombreuses, leur surface est couverte d'une pellicule structurale fine (D) incluant encore quelques agrégats. Des pellicules de dépôts (E) se sont formées dans les interbillons. Champs situé près du profil de référence n°2 (Benchmark Project).

Les critères pris en compte pour juger de l'intensité des processus sont, pour les pellicules structurales, la dureté, l'épaisseur et le degré de tri vertical, et, pour les pellicules de dépôts, l'épaisseur (qui peut atteindre 8 cm, photo.3).

Puisque ces pellicules se forment à la surface du sol, leur présence, au sein d'un profil cultural, témoigne d'un travail du sol postérieur à leur formation. Par exemple, une pellicule structurale présente au sein d'un billon révélera que ce niveau a subi l'effet des pluies avant de se trouver enterré lors d'un sarclage. Si, en outre, la surface actuelle du sol ne présente aucune pellicule, il est logique d'en déduire que ce sarclage a été effectué après la saison des pluies. En somme, ces traits pédologiques sont significatifs d'une histoire.



Photo. 3 - Pellicule de dépôts (F) en interbillons, non loin du site 10, sur une petite parcelle restée nue en saison des pluies. Le sarclage, postérieur aux pluies, a enterré les pellicules structurales (G).

La distribution des pellicules le long du transect (fig.4)

Les observations peuvent être résumées comme suit:  
- à l'amont du transect, aucune pellicule n'a été décrite. La surface, très sableuse (fig.4) est totalement couverte par le tapis herbacé (tableau 2),  
- un peu plus à l'aval, sur la partie cultivée de la série KASAMA sandy loam, l'intensité des problèmes liés aux pellicules structurales est faible. La texture du sol reste assez légère et la surface est bien couverte par un mulch constitué de résidus de maïs,

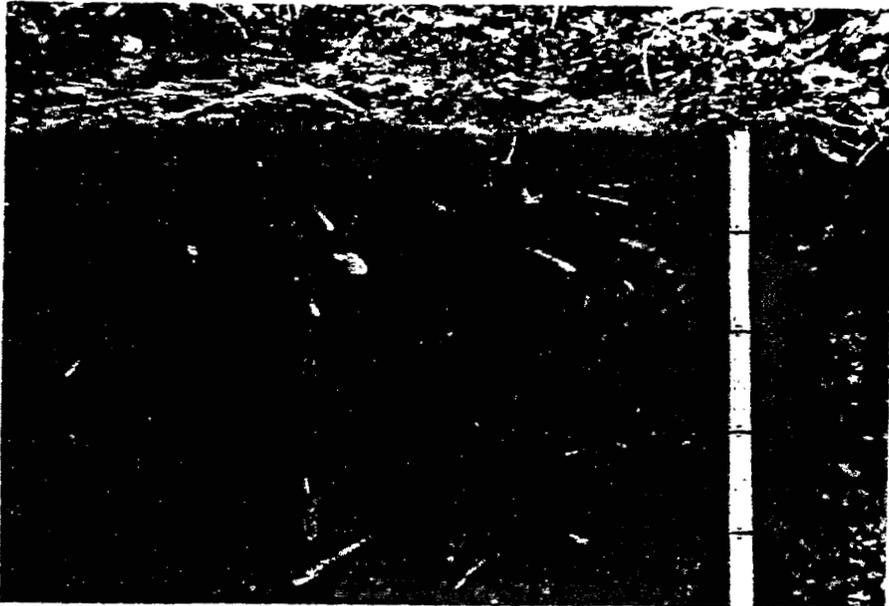


Photo.4 - Sous la litière, épaisse de 2 cm, s'est formée (du fait, non pas de l'impact des pluies mais de la désagrégation par humectation) une pellicule structurale fine et très discontinue, perforée par l'activité faunique. Site n°11.

- c'est, assurément, les surfaces de texture moyenne de la série MUFULIRA sandy clay loam qui présentent le plus de risques de subir des réorganisations superficielles. En effet, les formes les plus évoluées de pellicules structurales ont été décrites, sur ces sols, dans les zones coupées à blanc. Toutefois, l'intensité de réorganisation reste faible sous couvert naturel (site 11, photo. 4) et modérée sous mulch de maïs, ou de millet. Dans les deux cas, la litière ou les résidus de culture attirent les termites qui perforent les pellicules (entre sites 11 et 12, photo.5).

- L'aval du transect (MISAMFU sandy loam) ne manifeste qu'une faible sensibilité aux réorganisations superficielles. L'examen d'une surface cultivée, située non loin d'un profil type de cette série (BENCHMARK PROJECT PIT N°2) montre que le problème posé par la formation des pellicules est légèrement moins marqué que pour la série précédente.



Photo.5 - Profil cultural de champ de mil cultivé à la houe. Le microrelief s'est effacé, favorisant le développement d'une pellicule de dépôts assez épaisse (H). Attirés par les résidus, les termites édifient des placages de récolte (I) et perforent la pellicule; entre sites 11 et 12, fig. 5e.

La distribution des pellicules de dépôts n'est pas calquée sur celle des pellicules structurales. Les formes les plus évoluées correspondent à une partie du champ laissée en jachère (site 10). Alors que sur la partie toujours cultivée, le sarclage manuel assure une reconstruction partielle des billons (fig.5c , photo. 6), les anciens billons de la jachère ont continué à subir l'effet de l'érosion pendant une plus longue période. De ce fait, le microrelief cultural a presque totalement disparu (fig.5d photo.7), favorisant ainsi une exportation accrue des constituants. Le site 10 est en effet celui qui présente également les indices d'érosion les plus marqués (dont une micromarche, fig.5d).

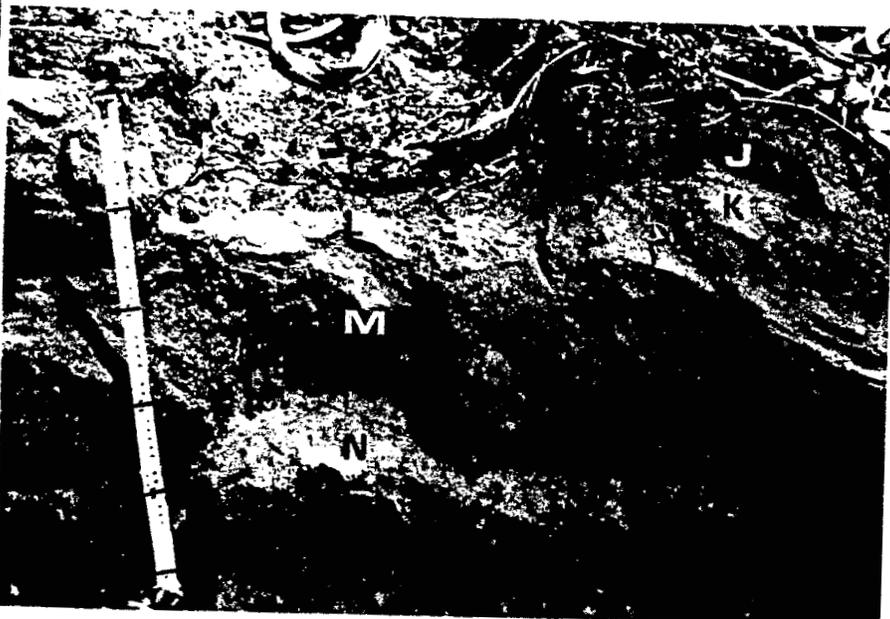


Photo.6 - Profil cultural, site n°7, fig.5c. Un microhorizon meuble (J), non pelliculaire, formé lors d'un sarclage, après la saison des pluies, recouvre une pellicule structurale épaisse et dure (K) qui marque l'ancienne surface du billon lors de la saison des pluies. En interbillons, une pellicule de dépôts (L), peu épaisse, s'est mise en place. Dessous, la fouille au pinceau a mis en évidence des mottes compactes (M) et une semelle de labour (N).



Photo.7 - Profil culturel de la parcelle en jachère; site 10, fig.5d. Trois surfaces apparaissent facilement: la plus ancienne, soulignée par une pellicule structurale (O), suit le contour des anciens billons, la seconde, au microrelief nettement plus émoussé (P), correspond à la fin de la saison des pluies après culture, la dernière (Q), la surface actuelle, quasi-plane, favorise l'érosion en nappe.

Les mêmes processus semblent intervenir, mais dans une moindre mesure, sur la parcelle cultivée à la houe entre les sites 11 et 12 (fig.5e, photo 5). Dans les deux cas, ces dégradations doivent, très probablement, être imputées aussi à l'effet de la pente qui, entre les sites 9 et 13, est la plus marquée du transect.

Photo.8 - détail de la photo. précédente (site n°10, fig. 5d). Exemple de pellicule polygénique: superposition de deux ensembles pellicule structurale (S)-pellicule de dépôts (R), correspondant à une année de culture suivie d'une année de jachère. L'ensemble présente un aspect soufflé du fait de la présence de très nombreuses vésicules dont le diamètre peut atteindre 2 mm.



Nous retiendrons de cette présentation que:

- l'intensité de formation des pellicules structurales dépend surtout de la texture de l'horizon de surface, du couvert végétal et de l'activité faunique,
- les problèmes liés aux pellicules de dépôts et à l'érosion sont associés, bien sûr, à la pente, mais aussi aux itinéraires techniques et au passé cultural.

#### Lissages et semelles de labour

Comme le montre l'étude des profils culturaux le long du transect, les risques de lissage et de formation de semelles de labour augmentent avec la teneur en argile (sites 5 et 7, fig.5b et c ). Ces traits pédologiques, induits par les techniques culturales, n'ont été décrits ni pour les sols sableux de l'amont du transect (fig.5a), ni pour le sol, plus lourd, mais cultivé à la houe (entre sites 11 et 12, fig.5e, photo.5 ). L'utilisation d'engins lourds sur les sols de la série MUFULIRA sandy clay loam constitue un risque de dégradation du profil cultural. Reste à préciser la gamme d'humidité optimale pour le travail de ces sols (essais Proctor, limites d'Atterberg,...).

#### CONCLUSIONS

L'étude des états de surfaces et des principales contraintes physiques nous amène à formuler deux conclusions:

- Ce sont les sols de la zone médiane du transect, série MUFULIRA sandy clay loam, qui semblent présenter à la fois les meilleures conditions de fertilité (comme en témoigne le couvert ligneux) et les risques les plus importants de dégradation lors de la mise en valeur.
- Les caractéristiques actuelles de la surface du sol et de l'horizon travaillé traduisent assez bien les variations texturales observées le long du transect. Toutefois, certaines limites sont discordantes. Elles reflètent alors l'influence du passé cultural et du type de mise en valeur actuelle. Aux variations verticales et latérales dues aux processus de transformation, se surimposent, en effet, des discontinuités, liées au travail du sol (photo. 9). Ces différenciations, dont les dynamiques de formation, et de réorganisation, peuvent être très rapides, ne doivent pas être laissées de côté lors de la caractérisation d'un site. Elles conditionnent, pour une bonne part, en effet l'alimentation en eau, l'aération et l'enracinement des plantes cultivées.

## CONCLUSIONS GENERALES

Au terme de ce rapport, il convient de comparer les deux types d'approches utilisées pour caractériser le site de MISAMFU.

La première, conventionnelle, a abouti à une carte des sols, fondée sur le concept de profils types. Elle est directement opérationnelle dans le domaine agronomique dans la mesure où elle permet de distinguer des types de sol qui présentent, effectivement, des comportements différents lors de la mise en culture.

*Photo 9 - site n°2, fig.5a; cet exemple illustre la nécessité, lors d'une caractérisation d'un site, de prendre en compte aussi bien les paramètres de profondeur (ici apparition du grès - T - sous un sol très éluvial) que de surface (absence de réorganisation superficielle, existence de traces d'anciennes cultures (U)).*



La seconde, appliquée, au cours de cette mission, fait surtout apparaître la complexité de la couverture pédologique, soumise à trois systèmes de transformation lente et à des réorganisations de surface rapides. En reliant les sols à leur substrat, elle a permis de formuler des hypothèses quant à leur pédogenèse, hypothèses qui doivent être confirmées par des résultats d'analyse et des observations micromorphologiques. En reliant les horizons travaillés et la surface des sols, au passé culturel, elle a mis en évidence des contraintes, ou des risques de contraintes, pour les plantes cultivées.

Est-ce à dire que des deux approches, l'une prime sur l'autre ? Ce serait mal poser le problème. Le système des séries de sols assure, au moins en partie, à l'agronome, la possibilité d'extrapoler les résultats d'essais obtenus en station. Il fournit des indications d'ordre statistique sur l'hétérogénéité du contenu-sols. L'apport essentiel de l'approche plus récente est de montrer que cette hétérogénéité n'est pas aléatoire mais, à l'inverse, ordonnée, induite par un passé pédogénétique, ou anthropique. Elle fait apparaître que les variations verticales et latérales peuvent être:

- abruptes: c'est le cas des discontinuités introduites par l'utilisation actuelle, ou passée, des sols,
- rapides, dans les zones de remontée du socle par exemple,
- progressives, pour les gradients décrits le long du transect.

Ces trois types de variations devraient être pris en compte lors des essais agronomiques. Ceci faciliterait considérablement non seulement l'interprétation des résultats mais encore leur extrapolation. L'enjeu ne mérite-t-il pas qu'agronomes, pédologues et statisticiens s'accordent pour élaborer de nouveaux plans d'essai ?

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent exprimer leurs vifs remerciements envers leurs collègues de ZAMBIE, du Centre de Mount MAKULU (LUSAKA) et de la station agronomique de MISAMFU. Une mention particulière doit être réservée au Dr. Otto SPAARGAREN qui a participé activement aux travaux de terrain et avec qui doit être complétée prochainement cette caractérisation, par des données d'analyse.

#### BIBLIOGRAPHIE

- CHAUVEL A., 1977. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. ORSTOM, Paris, Coll. Travaux et Documents N°62, 532 p.