

La microlyse plasmique et la différenciation des épipédons dans les sols ferrallitiques rouges du Centre-Cameroun

Jean-Pierre MULLER

Pédologue ORSTOM

IRAF*, B.P. 2067, Yaoundé, Cameroun

RÉSUMÉ

Les horizons B, rouges et meubles (structichrons), d'accumulation d'hydroxydes de fer des sols ferrallitiques Centre-Camerounais, subissent une pédogenèse récente (ou actuelle). Les processus affectant le plasma originel peuvent se regrouper en mécanismes de micro-réorganisation et en mécanismes de microdésorganisation. Les premiers ont été abordés dans un article précédent : c'est la microstructuration (Muller J.P., 1977).

Cet article, est consacré à la différenciation des épipédons, horizons marqués à divers degrés par l'accumulation de matières organiques (horizons humifères et B de consistance). Elle oppose des épipédons peu contrastés, à horizon humifère réduit et B de consistance peu différencié, à des épipédons contrastés, à horizons humifères marqués et B de consistance nettement distinct des structichrons sous-jacents. Le contraste des épipédons est surtout réalisé au niveau de la couleur, de la texture et de la structure. L'accentuation de ce contraste procède de mécanismes de désorganisation dont l'aspect principal est une microlyse. L'étude micromorphologique suggère plusieurs degrés de développement de cette dernière (chronoséquence) : la décoloration du plasma (décomplexation), la dégradation de la structure plasmique (microstructurolyse), la destabilisation du fond matriciel (lessivage), l'accumulation organique. Cette différenciation, à polarité verticale descendante, est responsable du développement progressif des horizons supérieurs aux dépens des structichrons sous-jacents.

ABSTRACT

The well structured, red, oxic-B horizon of the central Cameroons ferrallitic soils is subject to a pedogenetic process at the present time. The original plasma is changed through the mechanisms of micro reorganization and micro desorganization. The former process has been discussed in a previous paper (Muller J.P., 1977).

This paper deals with the differentiation of the epipedons, (litter humus horizons and « consistant B »). Less contrasting epipedons are compared with epipedons with striking differences in compared with the underlying oxic-B horizons.

This contrast is expressed in terms of soil colour, texture and structure, but its origin lies in mechanisms of which the « microlysis » is the principal process. Micromorphological studies of these soils suggest the existence of different stages in this process, as follows : the fading out of plasma (decomplexation), plasma degradation (microstructurolysis proper), leaching of the clay plasma, and organic matter accumulation. This differentiation is responsible for the progressive development of the epipedon from the soil surface downwards and at the expense of the underlying oxic-B horizon.

* Institut de Recherches Agricoles et Forestières (IRAF) de l'Office National de Recherche Scientifique et Technique du Cameroun (ONAREST).

PLAN

1. INTRODUCTION
2. LES ÉPIPÉDONS
 - 2.1. Les caractères morphologiques
 - 2.2. L'expression du contraste des épipédons
3. LE PHÉNOMÈNE DE DÉGRADATION DES HORIZONS SUPÉRIEURS ET SES MÉCANISMES
 - 3.1. Degrés de développement de la microlyse et conséquences sur l'organisation
 - 3.1.1. la décoloration du plasma
 - 3.1.2. La dégradation structurale
 - 3.1.3. La destabilisation du fond matriciel
 - 3.1.4. Le développement des horizons humifères et de pénétration humique
 - 3.2. La séquence de différenciation des épipédons
4. CONCLUSIONS
 - 4.1. La microlyse est une différenciation à polarité verticale descendante
 - 4.2. La microlyse plasmique est un phénomène commun
 - 4.3. Incidences méthodologiques

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

1. INTRODUCTION

Dans un article précédent (J.P. Muller, 1977) nous avons vu que les horizons rouges des sols de l'amont des unités de modelé convexe, subissaient une micro-réorganisation (ou micro-structuration). Cette transformation, qui nous a paru être essentiellement un processus physique de fragmentation après réticulation du plasma, se développe de bas en haut des profils. Elle se poursuit plus ou moins près de la surface.

Les organisations des horizons supérieurs, et particulièrement des épipédons, sont en effet tributaires d'autres facteurs de pédogenèse qui contrarient à divers degrés la micro-structuration. Il s'agit bien sûr de l'accumulation de matière organique, de la forte activité biologique, des importantes variations pédoclimatiques superficielles... Mais aussi d'un phénomène général de dégradation du fond matriciel, ou plus précisément « d'altération » plasmique. Ses manifestations les plus évidentes sont une décoloration des horizons supérieurs et une « fonte » des structures de la partie supérieure des structichrons. Cette dégradation impose une morphologie originale lorsqu'elle

est accusée. Dans ce cas elle affecte même alors les structichrons denses profonds, et s'accompagne dans les horizons humifères d'un départ d'argile (phénomène « d'appauvrissement »). Nous analyserons les effets de ces transformations sur l'organisation des profils, aux échelles macro et microscopique.

2. LES ÉPIPÉDONS

2.1. Les caractères morphologiques

Les épipédons ferrallitiques sont constitués :

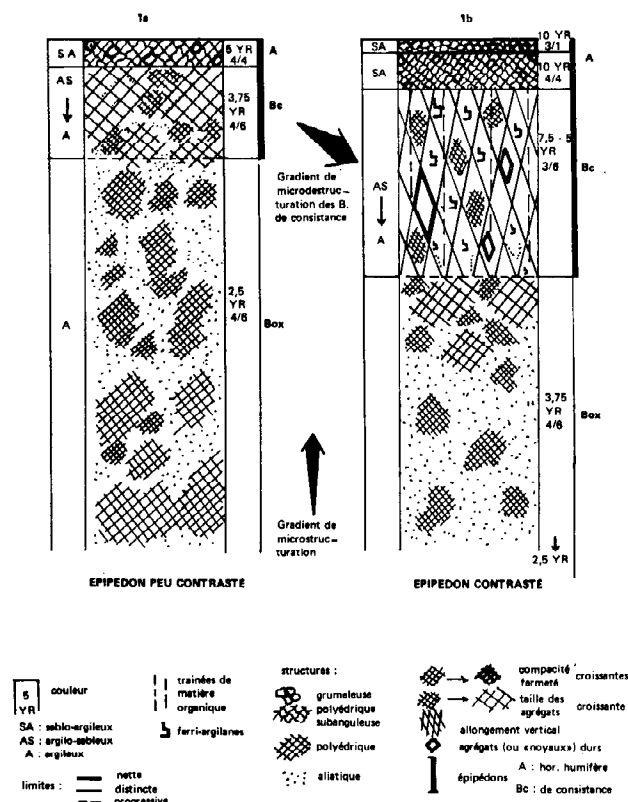
- d'une litière (O)
- d'horizons humifères (A) plus ou moins appauvris en argile, qui, développés, peuvent se subdiviser en un horizon humifère p.d. grumeleux (noté A1), un horizon appauvri (ou éluvial) gris et faiblement structuré (noté A3, J.P. Muller, 1972),
- d'horizons B plus ou moins assombrés dans leur masse et/ou sur les faces de leurs agrégats par une accumulation de matières humiques d'origine parfois illuviale. Il s'agit d'horizons d'autant plus colorés par les matières humiques qu'ils sont compacts, denses, déferrifiés, épais : la pénétration humique, contrastée, se fait alors à la faveur de larges fissures verticales. Ces horizons, d'abord et surtout définis par leurs caractéristiques structurales sont dits *de consistance*. Développés, ils peuvent se subdiviser en deux horizons :
 - un horizon supérieur sombrique (B11) fortement coloré par les matières humiques,
 - un horizon B12, horizon de consistance s.s.

Suivant le degré de développement des caractères propres aux épipédons, qui les différencient donc des structichrons sous-jacents (notés B2, Martin 1972), nous avons fait la distinction entre des *épipédons peu contrastés* et des *épipédons contrastés*.

Leurs principales caractéristiques macro et micro-morphologiques sont reportés dans le tab. I et schématisées sur la figure 1. Les descriptions détaillées des principaux horizons sont données en annexe.

2.2. L'expression du contraste des épipédons

Tous les épipédons des sols ferrallitiques (dits) rouges sont de couleur plus jaune que les structichrons sous-jacents, sont teintés par la matière orga-



— La *texture* : Accroissement du gradient textural et illuviation par cutanes isolés dans le B de consistance.

— La *structure* évoluant vers des structures plus fines et plus poreuses dans les horizons humifères, et des structures plus grossières et compactes dans les B de consistance.

En outre la différenciation dans le sens d'un contraste prononcé des épipédons s'accompagne toujours d'un *épaississement* simultané des horizons humifères et de l'horizon B de consistance. Enfin, au fur et à mesure que les caractéristiques de la matière minérale se modifient, on constate une *emprise grandissante de la matière organique* (et de l'activité biologique associée) sur la morphologie des épipédons (couleur et structure notamment). Ce facteur accentue encore le contraste entre horizons humifères et B de consistance.

Analysons plus en détail la genèse de ces différents caractères et leur développement. Examinons aussi leurs interrelations en essayant d'établir une filiation entre les mécanismes responsables.

3. LE PHÉNOMÈNE DE DÉGRADATION DES HORIZONS SUPÉRIEURS ET SES MÉCANISMES

Il semble donc exister une corrélation entre les évolutions des quatre données macroscopiques : couleur, texture, structure, accumulation organique. Ces caractéristiques sont l'expression morphologique d'une pédogenèse superficielle, dont l'examen macromorphologique ne permet d'apprécier que le résultat global. L'étude micromorphologique, permet d'observer, dans des épipédons de plus en plus contrastés, les premières manifestations de changement de chacun de ces caractères avant qu'ils ne s'expriment macromorphologiquement et simultanément. Elle rend donc possible la détermination d'une chronologie des événements pédologiques. L'observation microscopique met ainsi en évidence la naissance précoce de certains de ces caractères dès les structichrons profonds (décoloration), leur apparition successive et leur développement progressif vers le haut des profils. Cette différenciation des épipédons, qui se fait aux dépens des structichrons, ne concerne donc, dans ses premiers stades, que la matière minérale. Comme il s'agit surtout de phénomènes de microdésorganisation affectant la structure plasmique nous parlerons de *microlyse* (du grec lysis = dissolution, destruction).

nique, présentent un léger gradient de texture, ont une structure influencée par l'accumulation organique dans les horizons humifères. Ils comprennent un horizon de consistance, partie supérieure des structichrons, marqué par une discrète accumulation de matières humiques et toujours plus compact et ferme que les structichrons meubles et rouges sous-jacents.

C'est le *développement relatif* de ces caractères qui détermine :

— Le contraste des épipédons vis-à-vis des structichrons sous-jacents.

— Le contraste entre les horizons humifères et l'horizon de consistance dans chaque épipédon.

Le tableau (pages suivantes) révèle que le passage des épipédons peu contrastés vers les épipédons contrastés s'exprime essentiellement au niveau de trois groupes de caractères :

— La *couleur* : « Jaunissement » du plasma argileux et accentuation de la coloration par les matières humiques.

TABLEAU I

Principales caractéristiques morphologiques comparées des épipédons peu contrastés et contrastés

1a. Caractéristiques macromorphologiques		Epipédons peu contrastés		Epipédons contrastés	
		Horizons humifères	Horizons B de consistance	Horizons humifères	Horizons de consistance
Epaisseur (ordre de grandeur - cm)		5 - 10	20 - 30	10 - 20	30 - 80
Couleur	teinte	brun-rouge (5 YR)	rouge (2,5 YR)	jaune (10 YR)	brun (7,5 YR)
	chroma	moyen (3)	élevé (4)	faible (2)	moyen (3)
	homogénéité	faible hétérogénéité (taches diffuses)	homogène	homogène	hétérogène (taches diffuses sur peds)
Influence de la matière organique sur	la couleur	moyenne	très faible	très forte	moyenne
	la structure	moyenne	nulle	forte	nulle
Texture		AS	A	SA	AS-A
Structure	formes dominantes	subanguleuses	anguleuses	a. arrondies b. subanguleuses	très anguleuses
	tailles (sur-structure)	fine : grumeaux - micropeds à moyenne : polyèdres		a. fine b. moyenne	moyenne à grossière (très grossière verticale)
	compacité (assemblage)	faible	moyenne	a. très faible b. faible	forte
	dureté (agrégats)	faible	moyenne	a. très faible b. faible	forte
Porosité totale		très poreux	poreux	très poreux	peu poreux
Système racinaire (répartition)		dense (homogène)	assez dense (homogène)	très dense homogène)	assez dense (hétérogène)
Transitions		distincte	diffuse	nette	graduelle

TABLEAU I (suite)

1b. Caractéristiques micromorphologiques		Epipédons peu contrastés		Epipédons contrastés	
		Horizons humifères	Horizons B de consistance	Horizons humifères	Horizons B de consistance
Assemblage - fond matriciel		porphyrosquelique		porphyro-squelique (tendance aggloméro-plasmique)	porphyrosquelique
Squelette		Abondant		Très abondant	Abondant
Plasma	teinte (hétérogénéité)	brun-rouge (hétérogénéité diffuse)	rouge (homogène)	brun-brun-jaune (hétérogène)	brun-jaune (assez homogène)
	micro-structure	insépique	ma-insépique	isotique	ma-insépique
	degré d'orientation	très faible	faible	—	très faible
Vides dominants		cavités	cavités irrégulières > fentes	cavités mamelonnées > microfentes gauches	fentes > cavités
Matière organique	nature	plasmique ≧ squelettale	plasmique	plasmique > squelettale	plasmique
	répartition	diffuse	taches diffuses	hétérogène taches contrastées	taches diffuses - Organo-argilanes de vides
	influence sur structure	peu nette	nulle	nette	nulle
Ferriargilanes		traces	néant	Assez abondantes (de vides complexes - contrastés)	
Aggrotobules		peu abondants			

3.1. Degrés de développement de la microlyse et conséquences sur l'organisation

Le développement de cette microlyse se fait en trois stades successifs (chrono-séquence) :

- Une décoloration du plasma,
- Une dégradation de la structure plasmique (simplification),
- Une destabilisation du fond matriciel (indice de lessivage).

3.1.1. LA DÉCOLORATION DU PLASMA

Un gradient vertical de teinte est observé sur le terrain. Il est faible dans les profils à épipédons peu contrastés (10 R dans les structichrons denses profonds à 3,75 YR dans l'horizon de consistance et 5 YR dans les horizons humifères). Ces épipédons sont donc pratiquement rouges dès la surface. Il est par contre accusé dans les profils à épipédons contrastés (10 R en profondeur à 10 YR parfois dès les horizons de consistance). En macromorphologie, un horizon de teinte 2,5 YR est rouge et la décoloration (ou le jaunissement) des horizons n'est considéré que pour des teintes variant de 5 à 10 YR.

L'observation microscopique montre en fait que les teintes intermédiaires entre 10 YR et 10 R (ex. horizons ou phases microstructurés cf. J.P. Muller 1977) sont le résultat d'une association ou juxtaposition de plages micrométriques rouges (10 R) et brunes à jaunes. Les prémices de décoloration sont donc observés très profondément, dès la base des horizons aliatiques ou les phases microstructurées des structichrons mixtes, à phases denses et microstructurées associées. *Une relative homogénéité de teinte n'est en fait réalisée que dans les horizons supérieurs fortement décolorés et dans les structichrons profonds et rouge sombre.*

En fait, toute plage jaunâtre au sein d'un plasma rouge n'est pas significative d'une décoloration liée à « l'altération plasmique » des horizons supérieurs. En outre, cette décoloration peut être très progressive et diffuse vers le haut des profils, ou localisée et intense dès la profondeur ; elle peut concerner l'ensemble d'un horizon ou certaines de ses phases seulement. Nous discernons ainsi plusieurs types d'associations de phases plasmiques :

Des associations peu contrastées (planche I, 1)

Elles traduisent une décoloration hétérogène, discrète et progressive, du plasma rouge initial vers le haut des profils, en taches irrégulières anastomosées,

aux limites diffuses. Ces dernières s'observent dans les profils peu contrastés où la décoloration des horizons supérieurs et la microstructuration sont peu prononcés.

Des associations contrastées

Nous en avons observé trois types :

— *Des plages relictuelles de plasma jaune dans un plasma rouge* : relativement rares (moins de 1 % dans les profils observés), irrégulièrement réparties, de forme et dimensions variées (jusqu'à plusieurs mm). Elles sont denses, asépiques, et présentant des limites nettes. Très contrastées, sans continuité apparente avec le plasma rouge emballant, elles sont visibles dès la profondeur ; elles paraissent relativement stables dans le profil et sont interprétées comme reliques de stades de différenciation antérieurs ou simultanés à celui des structichrons profonds.

— *Des plasmas vacuolaires apédiaux* (planche I, 2) : Le plasma rouge (très sombre en LPNA, vif en LR (1), apédal, des horizons profonds de certains sols à forte décoloration des horizons supérieurs (séquence verticale contrastée) est localement affecté d'une multitude de taches de décoloration. Jaune-orangé, très contrastées, sphéroïdales, de diamètre relativement constant (50-150 μ en moyenne), à assemblage in-argilla-sépique plus contrasté que celui du plasma rouge, elles sont bordées de séparations plasmiques fortement biréfringentes. Elles sont parfois anastomosées et isolent alors des amas plasmiques rouges et irréguliers. Elles paraissent préférentiellement affectées de microvides. Elles représenteraient une forme originale de décomplexation (ou décoloration) d'un plasma rouge fortement ferruginisé et résistant (2).

— *Des plasmas à micropeds* : Des micropeds rouges, variablement contrastés, sont agglomérés ou isolés dans une matrice apédale, en voie de décoloration (jaunâtre) dans laquelle se développe un réseau plus ou moins dense de microfentes (cf. J.P. Muller, 1977, la microstructuration des structichrons).

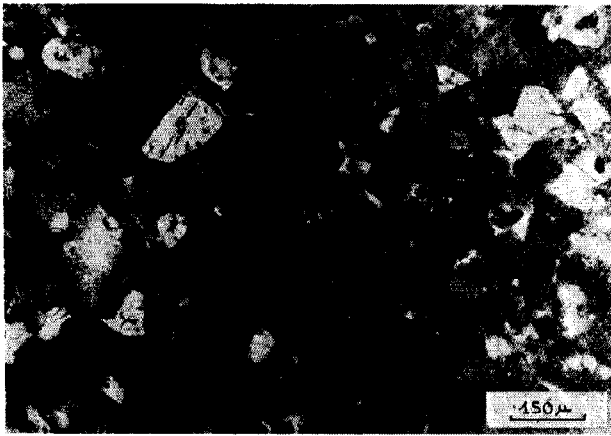
3.1.2. LA DÉGRADATION STRUCTURALE

3.1.2.1. *La microstructurolyse plasmique*

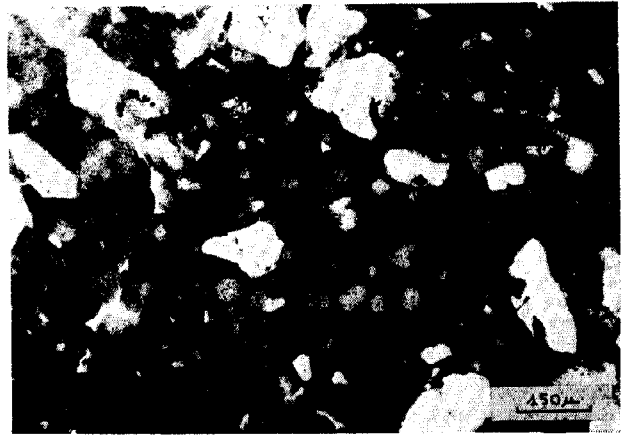
Des variations de la structure plasmique sont associées aux variations de teinte. La décoloration du plas-

(1) LPA = lumière polarisée, LPNA = Lumière polarisée non analysée, LR = lumière réfléchie.

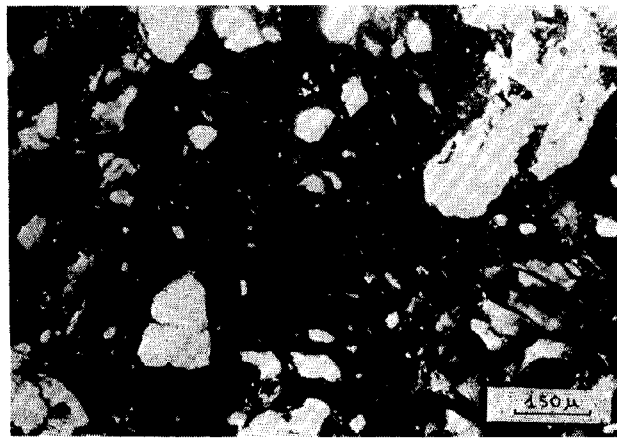
(2) Ce plasma pourrait alors être enrichi en fer après dissociation des constituants au niveau des taches décolorées.



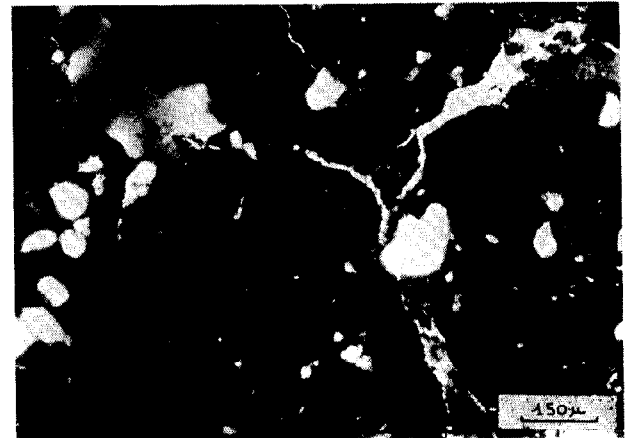
1



2



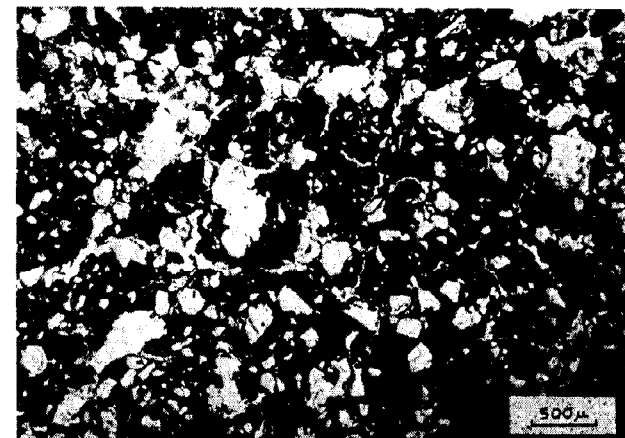
3



4



5



6

PLANCHE I : 1. *Décoloration plasmique des structichrons (LPNA)* : Hétérogène, en taches irrégulières anastomosées, peu contrastées, aux limites diffuses. — 2. *Plasma vacuolaire apédal (LPNA)* : Plasma rouge sombre, apédal, de structichron profond, affecté de taches micrométriques de décoloration, très contrastées, sphéroïdales, à limites nettes. — 3. *Horizon humifère (LPA)* : Structure plasmique quasi isotopique, par « fonte » des microstructures. L'horizon, compact, est parcouru de fentes gauches, allongées, aux parois parallèles. — 4. *Microstructurolyse plasmique d'un B de consistance (LPA)* : Structure presque isotopique par « fonte » des microstructures. L'horizon, compact, est parcouru de fentes gauches, allongées, aux parois parallèles. — 5. *Ferriargilanes (LPNA)* à la base d'un B de consistance : Un ferriargilane zoné vers lequel convergent des fissures gauches, et des ferriargilanes simples, très faiblement colorés, homogènes (non microgranuleux), aux limites diffuses. Décoloration plasmique hétérogène du fond matriciel. — 6. *Horizon humifère (LPNA)* : Gris très foncé. Squelette quartzeux abondant : Grains de tailles variées, émoussés ou anguleux, cariés et fissurés, dispersés. Porosité de méso et macrocavités, irrégulières et interconnectées (essentiellement).

ma présente un gradient vertical croissant vers le haut des profils. Suivant son intensité et son degré d'homogénéité il lui correspond une accentuation ou une simplification de la structure plasmique.

a) *Accentuation de la structure plasmique*

Dans la masse : une décoloration modérée des plasmas rouges s'accompagne d'une accentuation du contraste de l'assemblage ma-insépique interne aux plages décolorées. Dans ce cas la décoloration ne révélerait qu'une orientation plasmique antérieurement masquée par les hydroxydes de fer, sans modification de l'arrangement initial. Cela signifie que la microstructure plasmique des horizons rouges pourrait être plus développée que ne le laissent voir les lames.

Au contact entre plasmas rouges et décolorés : Des séparations plasmiques se développent au contact entre plasma rouge et plasma jaunâtre lorsque le second est issu de la décoloration du premier (cela exclut le plasma jaune relictuel). Ces séparations se renforcent (nombre, biréfringence) quand s'accroît le contraste de teinte. Ce phénomène est marqué dans les plasmas vacuolaires et microstructurés (cf. ci-dessus et J.P. Muller, 1977).

Les séparations plasmiques préexistantes dans le plasma rouge (notamment les stries à orientation masépique), renforcées par la décoloration ou engendrées par cette dernière, semblent en retour orienter, sinon freiner, l'extension de cette décoloration (phénomène de rétroaction ?). Ainsi les micropeds seraient relativement protégés par leur cortex orienté, et les plages à orientation masépique qui bornent nettement les plages de plasma jaunâtre préserveraient le plasma rouge de la décoloration, du moins tant que celle-ci reste modérée.

b) *Simplification de la structure plasmique*

Il s'agit d'une simple atténuation de la biréfringence des séparations plasmiques suivies de leur disparition progressive. Cette évolution ne s'accompagne donc pas d'une réorganisation de la structure plasmique (émergence d'une nouvelle micro-structure).

Représentant un stade plus avancé de la dégradation du plasma, elle n'est en fait réalisée que dans les horizons fortement décolorés dans leur masse et exclut donc les associations plasmiques micrométriques rouges et jaunes. Elle s'observe dans les horizons humifères (planche I, 3) et partiellement dans les B de consistance brun jaunes à jaunes, à microstructure très faiblement insépique à isotique (planche I, 4).

Notons cependant que tous les horizons de consistance (même très rouges) présentent un plasma plus

faiblement structuré (séparations plasmiques moins nombreuses et moins biréfringentes) que les structichrons plus ou moins microstructurés sous-jacents. La décoloration du plasma ne fait qu'accroître cette tendance en l'étendant vers la profondeur (horizon de consistance plus épais).

3.1.2.2. *Traduction macromorphologique de la microstructurolyse plasmique*

Dans les *épipedons peu contrastés*, la structure dominante des horizons humifères est polyédrique subanguleuse, mais des agrégats anguleux sont observés à faible profondeur (sinon dès la surface). Bien que moins abondante et moins bien individualisée que dans les structichrons aliatiqes, une phase microstructurée est observée sur le terrain dès la partie supérieure des horizons de consistance. L'accroissement de la compacité et de la dureté des agrégats dans l'horizon de consistance est moyen et n'affecte qu'une partie de cet horizon : il subsiste une phase meuble friable à structure fine. La porosité liée à cette relative finesse de la structure et l'activité biologique sont bonnes. Des traits structuraux caractéristiques des structichrons profonds sont donc notés dans ces épipedons. Cela signifie que dans les sols rouges, dès les horizons supérieurs, à une *microlyse peu développée* correspond une certaine parenté des caractères macrostructuraux des structichrons s.s. dans les épipedons.

La structure des *épipedons contrastés* diffère par contre fondamentalement de celle des structichrons sous-jacents : les formes arrondies et subanguleuses sont exclusives dans les horizons humifères ; la structure de l'horizon de consistance, très anguleuse, assez grossière, présentant parfois un allongement vertical préférentiel, est fort différente de celle des structichrons plus ou moins microstructurés sous-jacents. Rares sont en outre les micropeds (autres que biologiques) observés sur le terrain. Les faces structurales sont lisses, voire luisantes. L'horizon de consistance est compact, ferme ; il présente une faible porosité relative de fentes planes. A une microstructurolyse prononcée (liée à une forte décoloration), correspond donc un profond changement au niveau des organisations, caractérisé par une « fonte » des structures (ou « prise en masse » des éléments structuraux), avec accroissement corrélatif de la compacité-dureté et une diminution de la porosité-perméabilité. L'horizon de consistance ainsi différencié et soumis aux variations saisonnières d'humidité acquiert une nouvelle structure, grossière, à unités structurales et porosité de fentes (dont fentes de retrait en sec), préférentiellement subverticales.

3.1.3. LA DÉSTABILISATION DU FOND MATRICIEL

Certes on note dans tous les sols ferrallitiques un léger gradient de texture dans les horizons supérieurs, mais nous n'avons constaté aucune translocation dans les sols dont le profil est rouge jusqu'en surface. On observe au contraire un net accroissement de ce gradient au fur et à mesure que la décoloration des horizons supérieurs s'accroît et que la structure plasmique s'estompe. Le squelette des horizons humifères devient abondant, des sables déliés blanchis apparaissent, l'assemblage tend à devenir agglomératif (planche I, 1). L'apparition de ferriargilanes de vides, dans l'horizon de consistance notamment, témoigne alors d'une migration de l'argile (planche I, 5). Une forte décoloration accompagnée d'une destruction de la microstructure plasmique est donc un élément diagnostique d'instabilité du plasma argileux.

Le lessivage observé est modéré :

— Il s'effectue sur une courte distance : les teintes des ferriargilanes sont voisines de celles du plasma adjacent.

— Il est progressif et ne s'accompagne pas d'une différenciation nette d'un horizon lessivé à assemblage intertextuel dépourvu d'argilanes, surmontant un B illuvial net.

— Il ne concerne que le plasma argilo-ferrugineux et ne se traduit par aucun arrangement particulier ni modifications morphologiques fondamentales du squelette.

L'accroissement du lessivage est lié à celui de la décoloration vers la base des profils. Il se mesure non seulement par l'abondance des cutanes et l'épaisseur concernée par l'illuviation, mais aussi la nature des ferriargilanes : fins, simples, à orientation continue et à biréfringence moyenne quand débute le lessivage (horizons peu décolorés), les ferriargilanes s'épaississent, deviennent complexes, striés, à forte biréfringence et fort degré de séparation dans les horizons fortement décolorés. Des zones plus granuleuses ou assombries apparaissent, traduisant probablement une migration de particules plus grossières et de matières humiques liées à l'argile (organo-argilanes).

3.1.4. LE DÉVELOPPEMENT DES HORIZONS HUMIFÈRES ET DE PÉNÉTRATION HUMIQUE

Le développement des horizons humifères et de pénétration humique des sols ferrallitiques est réduit

en regard de l'épaisseur des profils et leur contraste est faible dans les sols rouges dès la surface. Ils acquièrent, à faible profondeur (généralement moins de 10 cm), certaines caractéristiques (notamment structurales) des structichrons sous-jacents (cf. supra). *Les horizons rouges très proches de la surface, limitent donc l'emprise de la matière organique et de la faune sur la différenciation morphologique*, tant dans son ampleur que dans son intensité.

Par contre, ces horizons humifères s'épaississent et leur contraste s'accroît lorsque se développe la dégradation de la partie supérieure des structichrons, notamment quand le stade de lessivage de l'argile est atteint (1). L'abondance du squelette et la porosité induite (planche I, 6) favorisent le développement d'horizons humifères épais, sombres, très poreux, dans lesquels sont associés des agrégats grumeleux et des quartz déliés blanchis. Ces horizons se différencient très nettement des horizons de consistance, à pénétration humique hétérogène en larges traînées contrastées sur les parois des fentes verticales larges (organo-argilanes). Une dégradation intense des organisations de la phase minérale favorise donc le rôle de la matière organique (intensité et ampleur), et celui associé de la faune, dans la différenciation morphologique des épipédons.

Notons qu'il est possible que la désorganisation plasmique provoque une modification de l'ambiance physico-chimique pouvant interférer sur la nature des composés humiques. Ces derniers participent peut-être aux pédogenèses superficielles telles que le lessivage (? cf. cutanes complexes).

3.2. La séquence de différenciation des épipédons

Ces observations, associées à celles des horizons humifères, appauvris ou non, effectuées au Gabon (J.P. Muller, 1970, 1972) et la mise en évidence d'une chronoséquence des événements pédologiques interférant sur la morphologie des épipédons, nous permet de définir une *séquence de différenciation des épipédons* dans le sens d'une décoloration, microdéstructuration et appauvrissement (en fait lessivage) croissants :

(1) On se place ici du point de vue de la chronologie des faits et non de celui de leur causalité.

Epipédon rouge		gradient croissant de différenciation →			Epipédon jaune, fortement appauvri
0 A1 ou A1/B B1 ox	0 A1 B1, (d)-ox	0 A1 (A3) B1, (c)-d-ox	0 (A0) A1 A3 B11, (h), (tl)-c-d-ox B12, (c)-d-ox	0 A0 A1, (sq) A3, (e) B11, h, (tl)-c-d-ox B12, (h), (tl)-c-d-ox B13, (c)-d-ox	

ox : accumulation résiduelle d'hydroxydes de fer

d : décoloration par décomplexation

c : compacité, consistance (↘ porosité, ↗ cohésion)

h : matière organique bien humifiée (présence de)

tl : illuviation argileuse (ici par cutanes isolées)

e : présence de volumes blanchis par départ des hydroxydes et de l'argile, point suffisamment toutefois pour qu'il ne reste qu'une concentration résiduelle de quartz

sq : concentration résiduelle de quartz.

(Nomenclature et règles d'écriture définies par M. Gavaud, J.P. Muller, J.M. Rieffel. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 2, 1976 et J.P. Muller. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, n° 1, 1972 et 3/4, 1974).

4. CONCLUSIONS

4.1. La microlyse est une différenciation à polarité verticale descendante

Elle présente un gradient vertical dans son intensité et son degré de généralisation aux horizons affectés.

Elle est un aspect du développement des épipédons aux dépens des structichrons sous-jacents. Elle procède en trois étapes successives dans le temps :

— Une *décoloration du plasma* qui peut débiter très profondément : elle est hétérogène et modérée dans les structichrons s.s.

— Au-delà d'une certaine intensité et généralisation atteintes dans les horizons de consistance, elle s'accompagne d'une *microstructurolyse* plasmique ou « fonte » des microstructures. La présence de micropeds en voie de disparition ou de phases plasmiques rouges, insépiques, résiduelles, à la base des horizons de consistance témoigne de leur approfondissement aux dépens des structichrons meubles et aliatiques.

— Les horizons de consistance sont postérieurement détruits à leur partie supérieure, à plasma jaune isotique, par *lessivage* de l'argile.

L'organisation résultante et probablement les caractéristiques physico-chimiques induites, favorisent

l'accumulation et l'emprise de la matière organique : des horizons humifères contrastés s'épaississent aux dépens des horizons de consistance : des phases résiduelles de ces horizons dans les horizons humifères témoignent de cette évolution (1).

Cette série évolutive est complète dans les profils à épipédons contrastés, ébauchée dans les profils à épipédons faiblement contrastés.

4.2. La microlyse plasmique est un phénomène commun

Cette transformation de la partie supérieure des profils de sols ferrallitiques rouges paraît avoir un certain degré de généralité. Relativement discrète dans les sols que nous avons étudiés (nous avons éludé le problème des bas de pente), elle paraît responsable, par exemple, d'un très fort contraste des horizons supérieurs des sols de Casamance (Chauvel, 1976).

Mais la thèse elle-même de cette transformation, cette « déferrallitisation » par « ultradessiccation » développée par Chauvel, qui destabilise les liaisons fer-argile, ne nous paraît pas strictement applicable

(1) Nous nous situons bien sûr ici sur le plan de la continuité dans la chronologie du développement des traits et des horizons. En choisissant le sens de la causalité, qui nécessiterait des études complémentaires, la relation lessivage-matière organique pourrait s'inverser : la matière organique (changement de nature) influence peut être (sinon probablement) le lessivage.

aux sols étudiés. Les sols de Casamance, couverts d'une maigre végétation et soumis à un régime climatique contrasté, subissent d'importantes variations pédoclimatiques annuelles dans leur « compartiment apical » (Gavaud, 1976). On conçoit alors que les liaisons fer-argile assujetties à des changements fréquents (saisonniers) et relativement brutaux du pédoclimat (phénomène discontinu), finissent par céder. Les sols camerounais étudiés sont au contraire soumis à un régime climatique, certes « agressif », mais peu contrasté, constamment humide, et dont les effets sont encore modérés par l'épaisse couverture forestière (J.P. Muller, F.X. Humbel, 1975). Il nous paraît alors préférable d'envisager dans ce cas un phénomène plus continu et moins brutal, mais intervenant sur un laps de temps plus long. Ce pourrait être l'action prolongée de solutions acides intervenant sur la nature même des constituants et modifiant secondairement leur distribution et leurs comportements possibles et compatibles avec ces distributions.

Notons cependant que des sols situés sous savane apparaissent plus « appauvris » que des sols identiques couverts de forêt (Martin, 1973). Moins protégés, soumis à un régime pédoclimatique plus contrasté, ces sols de savane se dégraderaient donc plus rapidement et plus profondément. Mais ce changement pédoclimatique semble en fait opérer comme catalyseur d'un processus de dégradation déjà engagé et non comme déclencheur s.s. : dans une séquence étudiée par Rieffel (à paraître) des sols très rouges dès la surface et situés sous savane ne paraissent pas plus appauvris en argile que les mêmes sols sous forêt.

Le terme microlyse, employé à dessein dans un sens descriptif, semble donc recouvrir des mécanismes variés mais convergents, se traduisant par la « fonte » ou la « dislocation » des microstructures.

4.3. Incidences méthodologiques

Dans deux articles précédents (J.P. Muller, 1970 et 1972) une étude du phénomène « d'appauvrissement » (défini par Fauck, 1971) a été entreprise au Gabon. Le départ d'argile étant décelé dans les horizons supérieurs, c'est donc à l'analyse du « compartiment apical » ou des stricts épipédons que nous nous sommes attachés. La méthode de prospection alors utilisée (fosses isolées, profondes de 1,50 à 2 m) est celle couramment pratiquée en cartographie pédologique.

Certes cette étude nous a permis de tenter une définition de caractères et d'un horizon diagnostique de l'appauvrissement. En outre elle nous a montré que l'appellation « sols appauvris », qui faisait essentiellement référence à un gradient textural, recouvrait en

fait une gamme très étendue de faciès morphologiques des horizons supérieurs. Mais il nous a semblé impossible de parvenir à une typologie exhaustive tant les combinaisons des caractères apparemment liés à cet appauvrissement sont nombreux, et l'interférence des divers facteurs de l'environnement est complexe. Il est apparu d'autre part, qu'outre les transformations subies par les horizons de départ d'argile (horizons appauvris s.s.), des caractères originaux apparaissent dans des horizons sous-jacents, à la partie supérieure des B notamment (« caractères et horizons majeurs »).

Nous avons donc, par une démarche strictement analytique, décrit diverses expressions morphologiques d'un phénomène commun, en isolant arbitrairement les horizons supérieurs (1) du reste du matériau pédologique ; mais aucun lien génétique n'a pu être explicité entre les transformations observées.

Dans la présente étude nous avons mis en évidence un phénomène général de *dégradation* des horizons supérieurs. Cette dégradation procède en plusieurs étapes successives. Si la différenciation morphologique résultante est prononcée dans les horizons supérieurs, les prémices de ces transformations peuvent être observés très en profondeur ; bien au-delà d'une profondeur arbitrairement fixée à 2 m (par exemple). En outre, ces transformations affectent des matériaux à différenciations pédologiques variées, indépendamment ou non de la nature elle-même diversifiée du matériau originel. Il paraît donc important de connaître la nature, et semble-t-il tout particulièrement l'organisation fine, des horizons B concernés : ainsi une forte microstructuration s'oppose, ou tout au moins ralentit, ce phénomène de dégradation.

Cette étude met donc en évidence deux faits capitaux aux implications méthodologiques évidentes :

1. « L'appauvrissement » en argile des horizons supérieurs n'est qu'une étape avancée d'un processus plus général de dégradation des horizons B. Ainsi les « caractères et horizons majeurs » précédemment mentionnés distinguaient-ils la phase de forte destruction des structures dans des horizons déjà très décolorés, sous-jacents aux horizons appauvris p.d. Ils sont le fait de la microstructurolyse plasmique, étape précédant l'entraînement des fines (2).

(1) Présumés strict domaine de manifestation du phénomène « d'appauvrissement ».

(2) On pourrait imaginer une étape plus avancée : celle de l'ablation complète des horizons supérieurs (humifères et appauvris), avec mise à nu des B compacts dégradés, comme cela se passe pour certains sols de zone sèche. L'observation de quelques profils surcultivés (inédit) nous confirmerait cette tendance : des lits de sables grossiers blanchis apparaissent déjà en surface.

2. L'évolution continue de ce phénomène de dégradation se fait par sauts génétiques successifs du bas vers le haut des profils en marquant dans le même sens, et de plus en plus profondément la morphologie des profils.

Les études basées sur l'emploi de la seule démarche analytique, parcellisante en tranches présumées indépendantes (études sur des profils isolés dont les 2 m supérieurs sont arbitrairement séparés des matériaux sous-jacents) butent donc rapidement sur le problème de la continuité verticale (et latérale) des organisations et de leurs transformations. Aucune hiérarchisation des caractères et des processus sur des bases naturelles ne peut être tentée. Aucune véritable étude génétique ne peut être entreprise. Cette méthode ignore dans les faits deux propriétés fondamentales des systèmes-sol : les propriétés d'*inclusion* (espace) et de *filiation* (temps) (J.P. Muller, 1977). Or c'est sur ces bases naturelles

qu'à notre avis doit reposer toute étude cohérente de géographie des sols. Il nous paraît ainsi illusoire de vouloir étudier autrement que nous un aspect descriptif des éléments cloisonnés sinon disjoints (1). Les différentes parties doivent être reliées dans l'espace et le temps de telle sorte que les différents systèmes puissent être comparés et le même système suivi à travers une séquence de changements dans le temps. Les études de type agronomiques, centrées sur les différenciations superficielles, semblent ne pas devoir échapper à la règle.

(1) La représentation que l'on se fait du sol à travers son image taxonomique correspond d'ailleurs à une vision fragmentaire. Cela est particulièrement vrai pour les sols ferrallitiques.

BIBLIOGRAPHIE

- CHAUVEL (A.), 1976. — Recherches sur les transformations des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges en Moyenne Casamance. *These Sci.*, Strasbourg, 495 pages.
- FAUCK (R.), 1971. — Contribution à l'étude des sols des régions tropicales : les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale. *Mém. ORSTOM*, 61, Paris, XII, 259 p.
- GAVAUD (M.), 1977. — Essai sur la classification génétique des sols. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 1 : 63-87.
- GAVAUD (M.), MULLER (J.P.), RIEFFEL (J.M.), 1976. — Nomenclature des horizons et des traits pédologiques macroscopiques. Une première approximation adoptée pour la cartographie des sols de la Bénoué au Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 2 : 169-173.
- MARTIN (D.), 1973. — Les horizons supérieurs des sols ferrallitiques sous forêt et sous savane du Centre-Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XI, n° 2 : 155-179.
- MULLER (J.P.), 1972. — Etude macromorphologique des sols appauvris en argile du Gabon. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 1 : 77-93.
- MULLER (J.P.), 1974. — Morphologie des horizons supérieurs de sols ferrallitiques du Gabon. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XII, n° 3/4 : 277-288.
- MULLER (J.P.), 1977. — Le problème des frontières du système-sol. Application à la méthodologie de l'étude du phénomène « d'appauvrissement » en argile des sols ferrallitiques. *Multigr. IRAF-ONAREST*, 13 p., 30 réf., cote P 205.
- MULLER (J.P.), 1977. — Microstructuration des structichrons rouges ferrallitiques, à l'amont des modelés convexes (Centre-Cameroun), aspects morphologiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 3 : 239-258.
- MULLER (J.P.), HUMBEL (F.X.), 1977. — Etude d'une toposéquence de sols ferrallitiques rouges près de Goyoum (Centre-Cameroun). Organisation macromorphologique, caractéristiques physiques et hydriques. *IRAF-ONAREST*, 120 pages multigr. 28 fig., cote P 204.

ANNEXE

Description détaillée des épipédons

1. LES ÉPIPÉDONS PEU CONTRASTÉS :
(ex. : GOY 16) cf. fig. 1 a

Un seul horizon humifère net surmonte un horizon de consistance discret.

1.1. L'horizon humifère

MACROMORPHOLOGIE

Horizon peu épais (5-10 cm), brun rougeâtre (5 YR), peu coloré par la matière organique (chroma 3-4), hétérogène (la masse de certains peds peu pénétrée par les matières humiques) ; argilo-sableux, à structures nettes, polyédrique et polyédrique subanguleuse associées (donc déjà assez anguleuses), fines et moyennes, incluant des agrégats (ou des « noyaux argileux ») plus rouges, fermes et peu poreux. Ensemble meuble et poreux, friable à peu friable (agrégats fermes). Forte activité. Transition distincte.

MICROMORPHOLOGIE

Squelette quartzeux assez abondant, grains de quartz de tailles variées, quartz émoussés et anguleux, cariés et fissurés, dispersés mais à répartition hétérogène. Plasma brun rouge, abondant, continu, à plages sombres anastomosées (teintées par matières humiques) et vives, plus denses, isolées. Structure très faiblement insépique (faibles contrastes, peu de séparations plasmiques), et assemblage porphyrosquelique. Ortho macro cavités, irrégulières (surtout) ou mamelonnées, à répartition hétérogène, localement fortement interconnectées, mésocavités isolées, rares microfentes gauches, quelques chenaux simples arqués. Matière organique à répartition hétérogène, quelques

grains de matière organique squelettale. Très rares ébauches de micropeds polysphédrox. Très rares ferriargilanes rouge jaunâtre, de vides, et papules, à forte orientation continue, moins de 30 μ d'épaisseur. Quelques gleabules, indifférenciés ou nodules sesquioxides rouge sombre et émoussés. Orthoagrotubules peu abondants.

1.2. L'horizon B de consistance

MACROMORPHOLOGIE

Horizon peu épais (20-30 cm), rouge (3,75-2,5 YR), à chroma élevé (4). Taches peu abondantes de matières humiques, diffuses et peu contrastées sur faces verticales des plus gros agrégats (1/2 à 1 unité de chroma de moins que le plasma interne). Phase dominante à structure polyédrique moyenne, peu nette à nette, cohérente et peu friable, associée à phases polyédrique fine et nette et microgrenue moyennement différenciée, meubles, friables, poreuses. Abondance d'agrégats fermes. Pas de faces luisantes, faces structurales microgranuleuses. Bonne porosité fine, tubulaire et structurale. Répartition homogène du chevelu racinaire. Transition diffuse.

MICROMORPHOLOGIE

Squelette idem, moins abondant et à répartition plus homogène que précédemment. Plasma rougeâtre, assez homogène, à rares plages assombries par matières humiques, essentiellement autour des macrovides (organo-argilanes). Deux phases plasmiques à limites diffuses :

1. Phase à structure faiblement ma-insépique ($\times 150$) à assemblage porphyrosquelique, incluant des micro-

pedes mal individualisés (ébauches ou séparations plasmiques peu biréfringentes, rares vides périphériques), présentant une forte porosité d'orthomacro et mésocavités anastomosées, irrégulières à légèrement mamelonnées, et d'orthofentes gauches et microfentes interpédales.

2. Phase dense, plus rouge vif, à structure très faiblement insépique porphyrosquelique, à orthomésocavités idem mais peu nombreuses et microfentes isolées et irrégulières.

Très localement assemblage squelsépique. La matière organique humique est très diffuse et localisée, squelettale. Pas de ferriargilanes. Gleabules idem aux précédents. Orthoagrotubules isolés et rares.

2. LES ÉPIPÉDONS CONTRASTÉS (ex. : GOY 11) cf. fig. 1 b

2.1. Les horizons humifères

La différenciation plus marquée de la partie supérieure des profils permet la distinction de deux horizons humifères superposés.

MACROMORPHOLOGIE

1. Horizon gris très foncé (10 YR 3/1-3/2), très mince (0-3 cm), incluant des débris végétaux, à abondantes taches noires, hétérogènes, dans la masse. Texture sablo-argileuse, avec sables grossiers déliés et blanchis. Structure très nette grumelleuse et polyédrique subanguleuse, très fine et fine. Forte porosité structurale. Très meuble, très friable. Quelques agrégats moyens, rougeâtres et fermes. Tubes, vacuoles, vésicules très abondants. Cohésion assurée par une matrice racinaire très dense. Activité très forte. Transition nette.

2. Horizon brun (7,5 YR 4/4), plus épais (10 cm), à taches gris jaunâtre (10 YR 4/2-4/3) dans la masse, hétérogènes, peu contrastées, à limites peu nettes. Pas d'éléments organiques figurés. Texture sablo-argilo-sableuse. Structure variablement nette, polyédrique subanguleuse, moyenne à fine, les agrégats les plus fins associés à des microagrégats. Surface des agrégats granuleuse. Meuble. Forte porosité intergranulaire et tubulaire fine et très fine. Forte diminution des porosités vacuolaires et vésiculaires. Grains de sable déliés, blanchis, à la surface de quelques agrégats ou sur parois de vides. Pas de revêtements ni

faces luisantes. Friable avec quelques volumes plus fermes, moins poreux, rougeâtres. Moindre abondance mais homogénéité de répartition du chevelu racinaire. Forte activité. Transition graduelle.

MICROMORPHOLOGIE

En raison de la faible épaisseur et des difficultés de prélèvement de l'horizon de surface (très faible cohésion, matrice racinaire dense), un seul prélèvement a été effectué entre 0 et 10 cm. Un autre concerne la tranche 10-20 cm. Les données micromorphologiques reflètent donc un état moyen entre les deux horizons envisagés ci-dessus.

Squelette abondant, quartzes et dispersés, à grains subarrondis, cariés et fissurés, à inclusions ferrugineuses et fragments de plasma rouge associé. Abondance de grains sup. à 200 μ . Entre 0 et 10 cm squelette le plus abondant dans le plasma le plus sombre.

Deux phases plasmiques associées, aux limites diffuses :

1. Plasma brun, dominant entre 0 et 10 cm, le plus imprégné par les matières humiques, asépique, porphyrosquelique à tendance aggloméroplasmique en surface. Aspect « pommelé » avec amas plasmiques sphéroïdaux localement séparés par microfentes gauches. Entre 0 et 10 cm, pedes sphéroïdaux bruns dans la masse et pedes biologiques polysphédraux en bordure des microvides. Forte porosité avec ortho méso et macrocavités, irrégulières et mamelonnées, fortement interconnectées. Vésicules et vacuoles en surface.

2. Plasma brun jaune, plus massif, largement dominant entre 10 et 20 cm, à structure très faiblement insépique ($\times 150$). Assemblage porphyrosquelique. Très localement séparations plasmiques dispersées et légèrement plus contrastées de type in-masépique et skel-vosépique. Porosité plus faible à orthofentes gauches dominantes, anastomosées, en nombre décroissant vers le bas. Matériau apédal de 10 à 20 cm.

Matière organique plasmique hétérogène plus abondante que squelettale, marquant plus les horizons que précédemment. Ferriargilanes illuviaux, jaunes, à nombre et taille croissants vers le bas, nets sur parois des orthovides (parfois sur squelette), à forte orientation continue ou lamellaire, à fort degré de séparation, fortement fragmentés en surface. Abondantes papules aciculaires ou de forme quelconque, continues ou lamellaires, jaunes. Gleabules rares, de forme et genèse variées (lithopédo et pédoreliques). Rares agrotubules.

2.2. L'horizon B de consistance

MACROMORPHOLOGIE

Epais (50 à 80 cm), brun (5 YR 4/6), à taches (traînées), brun grisâtres (7,5-5 YR 3/3-4/2), sur faces verticales des unités structurales très grossières ou sur parois des macrovides, à limites, contraste et extension variables. Texture argilo-sableuse. Aspect compact de l'horizon. Structure polyédrique nette, très grossière (5-15 cm) à sous-structure ou associée à structure polyédrique moyenne, peu nettes. Agrégats à arêtes très anguleuses, à allongement vertical préférentiel, à surfaces planes, souvent lisses, voire luisantes. Ensemble cohérent, peu à non friable, à faible porosité structurale. Quelques volumes centimétriques, à structure polyédrique fine et microgranuleuse, très poreux, friables. Forte porosité tubulaire fine. Pores moyens et vacuoles. Nombreux « noyaux » à pâte serrée, plus secs, à faible porosité, de taille variable. Nette diminution de densité du chevelu racinaire concentré préférentiellement dans fissures verticales larges. Faible activité apparente.

MICROMORPHOLOGIE

Squelette abondant, même morphologie que précédemment, à gradient de nombre décroissant vers le bas, dispersé, non classé, à légère hétérogénéité de répartition.

Deux phases plasmiques associées, aux limites assez nettes :

1. Plasma brun jaune, dominant, massif. Structure très faiblement ma-insépique, assemblage porphyros-

quelique, à répartition irrégulière, à plages plus claires et isotiques vers le haut. Ortho macro (75-500 μ) et méso-fentes (30-75 μ) courbes, les plus larges à orientation grossièrement subverticales, reliées par un réseau lâche de microfentes très longues et non orientées. Macro et surtout mésocavités, irrégulières, plus rares, isolées ou localement concentrées (volumes plus poreux de macro). Matériau apédal dans moitié supérieure, quelques ébauches de micropeds brun jaune à la base.

2. Plages de plasma rouge dans moitié inférieure, à nombre et tailles croissants vers la base, contrastées, en plages irrégulières, à limites nettes en haut, plus diffuses en bas, à structure moyennement insépique, incluant des ébauches de micropeds, parfois de séparations plasmiques. Porosité plus réduite de microfentes et mésocavités.

Quelques grains opaques de matière organique squelettale. Organo-argilanes de fissures grossières ou léger assombrissement local de la masse du plasma brun jaune. Ferriargilanes et organo-argilanes de fissures, simples ou complexes, continus ou zonés, lisses et/ou granuleux, microfissurés, de 10 à 300 μ , les plus épais dans microfissures verticales, parfois concentrés dans volumes plus poreux, irrégulièrement répartis, à limites nettes et forte orientation continue ; ou plus diffus, à faible degré de séparation, jaunes à brun jaune. Cutanes continus de teintes proche du plasma voisin. Quelques gleabules variés, rouges, diffus ou litho-pédoreliques irrégulières et contrastées. Quelques aggroutubules irréguliers, millimétriques.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM le 23 décembre 1977