

Pedo

LES ARGILES DES SOLS DES RÉGIONS TROPICALES SEMI-HUMIDES D'AFRIQUE OCCIDENTALE

par [Hélène PAQUET], Roger MAIGNIEN et [Georges MILLOT]

*Laboratoire de Géologie de l'Université de Strasbourg
Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer,
Centre de Recherches Pédologiques de Dakar-Hann*

Les connaissances sur la nature minéralogique de la fraction argileuse des sols africains ont fait de grands progrès au cours de ces dernières années. Il apparaît à ce jour que les différences constatées peuvent être utilisées dans la diagnose de certains groupes de sols. La présente étude concerne les sols se développant sous des climats tropicaux d'Afrique de l'W. Ces climats se caractérisent par deux saisons tranchées — humide et sèche. La température moyenne, élevée, dépasse 26 °C. La lame pluviale, concentrée en quatre à six mois, varie de 750 à 1 400 mm.

Les trois principaux groupes des sols évolués, auxquels on parvient dans ces régions, sont les suivants :

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés,
- les sols ferrallitiques,
- les sols d'argiles noires tropicales (vertisols et sols similaires).

Mais l'individualisation de ces sols se réalise plus ou moins rapidement et plus ou moins complètement, suivant la nature des roches mères et du drainage interne. Il en résulte que l'on observe, selon les cas :

- soit un passage direct et rapide des roches superficielles aux sols climaciques ci-dessus,
- soit un passage progressif, avec formation de sols de transition, à caractères mixtes, qui masquent temporairement les données spécifiques des grands groupes de sols, qui s'explicitent avec le temps.

Ceci explique les résultats fréquemment contradictoires, qui ont limité, jusqu'à ce jour, un accord général sur les caractéristiques minéralogiques de la fraction argileuse des sols de ces régions.

En fait, les sols de transition des régions tropicales semi-humides se caractérisent par leur

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° #1120lx1

jeunesse. Leur faible épaisseur, le développement peu marqué de leurs horizons, leur couleur foncée, leur saturation en bases élevée, leur bonne teneur en matière organique et leur structure excellente en font des entités pédologiques, facilement reconnaissables sur le terrain. Ces entités sont actuellement groupées sous le nom de *sols bruns entrophes des régions tropicales*. S'ils ont été peu étudiés jusqu'à ce jour, c'est que leur extension géographique est réduite. Mais ils forment un jalon important dans l'évolution des sols et méritent une attention particulière, qui doit permettre de mieux comprendre les différentes données minéralogiques reconnues au cours de cette étude.

La fraction argileuse de ces sols a été extraite par les méthodes habituelles au Laboratoire de Géologie de l'Université de Strasbourg. Les déterminations minéralogiques ont été faites au diffractomètre enregistreur Philips. L'évaluation des pourcentages de minéraux argileux dans la fraction inférieure à 2μ est semi-quantitative, les chiffres présentés étant approchés à 10 % près.

Les résultats des mesures sont donnés, selon le groupe de sols auxquels les profils appartiennent, le long des trois parties suivantes.

I. — SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS

1. Principales caractéristiques

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés se développent sous climat soudanien typique, à pluviométrie de 750 à 1 200 mm/an, concentrée en cinq mois de saison humide.

Ce sont des sols à profil ABC, dont certains ont un horizon A_2 et un horizon B textural, et présentent alors une structure à tendance nuciforme. On observe une large individualisation des oxydes de fer libre, qui sont facilement lessivés hors des profils ou entraînés en profondeur, où ils s'immobilisent sous forme de taches ou de concrétions. Leur réserve en minéraux altérables est souvent appréciable. Le rapport limon/argile est généralement supérieur à 0,15. Leur argile est en majeure partie kaolinique, mais contient souvent de petites quantités d'argiles à réseau 2/1. La gibbsite est en général absente. Le rapport SiO_2/Al_2O_3 , proche de 2, dépasse souvent cette valeur, tandis que le rapport SiO_2/R_2O_3 est toujours inférieur à 2. La capacité du complexe minéral est faible, mais supérieure à celle des sols ferrallitiques, dont la teneur en argile est comparable. Le taux de saturation cationique de l'horizon B est généralement supérieur à 40 % (SPI, 1961).

Ces sols sont ordinairement de couleur claire et fréquemment cuirassés par le fer en profondeur. Les teneurs en matière organique sont plutôt faibles — 1 à 2 % —, mais il y a formation d'un horizon gris noir bien marqué, de 25 à 30 cm d'épaisseur.

2. Situation et liste des prélèvements.

Les échantillons étudiés ont été prélevés en Haute-Volta, où, au nord de l'isohyète 1 200, ils représentent la majorité des sols.

La Haute-Volta est située sur la vaste pénéplaine antécambrienne et primaire africaine. Son altitude moyenne est de 250 à 300 m. Son drainage est assuré par la Volta Noire, la Volta Blanche et la Volta Rouge. Son relief est très monotone; il ralentit l'écoulement naturel des eaux de pluie, ce qui engendre la formation de nombreux marécages pendant la saison des pluies.

Dans le socle précambrien, on distingue des granito-gneiss anciens et une série phylliteuse et granitique birrimienne, avec, en discordance par-dessus, les grès de Bobo-Dioulasso et de Dédougou. Enfin, une importante formation alluviale recouvre la partie méridionale de la plaine de Gondo.

TABLEAU N° 1

LIEU DE PRÉLÈVEMENT	ROCHE-MÈRE	OBSERVATIONS ET PROFONDEURS	N° ÉCHANT.	ARGILES			
				Montmo- rillonite	Kaolinite	Illite	Talc
1. FALAISE DE FÔ	grès	profil constitue altéra- tion de passée schis- teuse dans grès	21		40	60	
			22		30	70	
2. ROUTE DANDE-FARAH	schiste argileux très lité et onctueux	néosynthèse, imprégna- tion ferrugineuse schistes blanchis, oxydés schistes peu altérés	131	50	50		+
			132	80	20		+
			133	80	20		+
3. DOGOU MATO	schistes birrimiens à amphibolites	surface	181	20	80		
4. OUAGADOUGOU	granite	50-120 120-200	211		100		
			212		100		
5. PISSI (OUAGA)	granite leucocrate	zone indurée texture de roche enco- re reconnaissable	220	10	80	10	
			221	10	80	10	
6. OUAHIGOUYA	schistes birrimiens	horizon d'accumulation du sol kaolinisation partielle schiste altéré imprégné de Fe moins altéré schiste très feuilleté onctueux	A 230		90	10	
			231		100		
			232		50	50	
			233		60	40	
			234		80	20	
7. ROUTE OUAHIGOUYA- TOUGAN	roche à éléments noirs sans doute gabbro	sol lithosolique	271	10	90	traces	
8. ROUTE BOBO-OUAGA	granite mélanocrate	sol de surface roche très altérée friable	281	traces	70	30	
			282	50	50	traces	

La Haute-Volta est caractérisée par deux types climatiques :

— Dans le S-W, le climat soudano-guinéen, avec une pluviosité minima moyenne de 1 100 mm et répartie du mois de mai au mois d'octobre.

— Dans le N, le climat sahélo-soudanien, dont la pluviométrie varie de 1 000 à 450 mm par an et se répartit surtout de juin à octobre.

Ces types climatiques donnent une végétation de forêt claire sèche et de savane boisée non épineuse, dans la région méridionale, et de savane arbustive armée, dans les zones les plus sahé-liennes.

Les roches-mères des sols ferrugineux étudiés sont les suivantes :

- Grès de la Falaise de Fô
- Schiste argileux de la route Dande-Farah
- Schiste birrimien à amphibolites de Dogoumato
- Granite de Ouagadougou
- Granite leucocrate de Pissi (Ouaga)
- Schiste birrimien de Ouahigouya
- Roche à éléments noirs de la route Ouahigouya-Tougan
- Granite mélanocrate de la route Bobo-Ouaga.

3. Résultats analytiques.

Le Tableau n° 1 présente les renseignements concernant les profils et les pourcentages de minéraux argileux déterminés dans la fraction fine.

4. Discussion des résultats.

Les profils peuvent être classés en deux catégories, selon qu'ils contiennent ou non de la montmorillonite.

Profil 2. — Le fait intéressant est la présence dominante de montmorillonite. Ceci peut s'expliquer par la nature de la roche-mère et le drainage. En effet, le talc a été déterminé dans les échantillons 131, 132, 133 et il correspond à l'altération d'un talc-schiste. Le talc, minéral magnésien, peut fournir la matière première à la montmorillonite. Par ailleurs, dans ce profil, l'altération se fait dans des conditions de drainage déficient et, bien que l'altération soit de type ferrugineux, la montmorillonite apparaît, car le drainage est mauvais.

Profil 8. — Les caractéristiques minéralogiques sont intermédiaires entre celles du profil précédent et des suivants. Dans la zone de départ, la montmorillonite est nette, ce qui est normal sur un granite mélanocrate. En surface, bien que le sol soit peu épais, la montmorillonite n'existe plus qu'à l'état de traces. Ceci est également en relation avec une position de drainage externe favorable. La présence notable d'illite dans l'horizon supérieur est imputable en partie à une pollution de surface, rendue possible par la proximité de la falaise de Banfora.

Profils 1, 3, 4, 5, 6, 7. — Ce sont des profils beaucoup plus typiques de l'altération ferrugineuse, c'est-à-dire à kaolinite très abondante, notamment les profils 3, 4, 5, 7. Les profils 1 et 6 sont un peu différents, en ce sens que l'illite y apparaît en quantité plus ou moins abondante : dans le profil 1, on peut expliquer la forte proportion d'illite, par le fait que les échantillons ont été prélevés dans une passée schisteuse micacée des grès de la falaise de Fô; dans le profil 6, les différences de proportions entre l'illite et la kaolinite proviennent de la différence de composition des lits schisteux originels, les uns plus arkosiens, les autres plus micacés.

Ainsi, dans les profils 2 et 8, la présence de certains minéraux constitutifs de la roche mère fait apparaître des caractéristiques transitoires, soit parce que l'évolution est ralentie par un drainage déficient, comme dans le profil 2, soit parce que le sol est encore très jeune, comme c'est le cas du profil 8. Il en est de même pour les profils peu épais — lithosols — 3 et 5, également très jeunes et partiellement engorgés temporairement en surface.

II. — SOLS FERRALLITIQUES

1. Principales caractéristiques

L'altération ferrallitique caractérise les zones tropicales les plus humides, à pluviosité supérieure en moyenne à 1200 mm/an, et les zones équatoriales. Cette altération est rapide et profonde. L'hydrolyse détruit entièrement les silicates et libère non seulement les oxydes de fer, mais également la silice et l'aluminium. La silice se dissout et migre en profondeur, en compagnie des alcalins et des alcalino-terreux. Cette migration est plus ou moins complète, suivant les conditions de drainage. La silice non évacuée se combine à l'alumine, pour donner la kaolinite. L'alumine libre peut subsister à l'état de gibbsite. Le fer se mobilise et se déplace à travers les profils. Il en résulte que les sols ferrallitiques sont des sols profondément et fortement altérés, caractérisés par leur richesse en kaolinite et sesquioxydes de fer et d'alumine, dans un milieu permettant une bonne décomposition et même souvent une décomposition très rapide de la matière organique (AUBERT, 1958). Les caractéristiques sont les suivantes :

— la fraction argileuse est constituée essentiellement de kaolinite, mêlée de sesquioxydes de fer et d'alumine;

— le rapport $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ est parfois voisin, mais généralement inférieur à 2;

— les sols ferrallitiques peuvent comporter des concrétions et des horizons indurés, mais ils sont pauvres en limon (2 à 20 μ);

— ils présentent souvent une grande friabilité en profondeur;

— leur capacité d'échange, rapportée à l'argile, est faible ou très faible, de même que leur degré de saturation en bases et leurs réserves minérales.

2. Situation des prélèvements et résultats analytiques

Les échantillons étudiés ont également été prélevés en Haute-Volta, mais, à l'opposé des sols ferrugineux tropicaux qui ne s'observent que sur les formes récentes du modelé, les sols ferrallitiques, au N de l'isohyète 1200, ne se trouvent que sur les surfaces anciennes. Ce sont des sols fossiles. Par contre plus au S vers les régions humides, on les rencontre sur toutes les formes du modelé. Il est donc possible de distinguer les sols ferrallitiques actuels des sols ferrallitiques plus âgés.

a) Sols ferrallitiques actuels.

Les roches-mères des sols étudiés sont les suivantes :

- Grès de la route M'Pesoba-Bobo;
- Roche grenue mélanocrate de la route Banfora-Douna;
- Granite de la station de Niangoloko;
- Illuvions et colluvions schisto-gréseuses de la route Bobo-Banfora;
- Grès cambrien de la route Bobo-Mopti;
- Schistes très feuilletés de Kougolekan.

Les renseignements concernant les profils et les pourcentages d'argiles proposés ont été groupés dans le tableau n° 2.

TABLEAU N° 2

LIEU DE PRÉLÈVEMENT	ROCHE-MÈRE	OBSERVATIONS ET PROFONDEURS	N° ÉCHANT.	ARGILES		
				KAOLINITE	ILLITE	MONTMO- RILLONITE
9. ROUTE DE M'PE SOBA A BOBO RIVE GAUCHE DE LA VAL- LÉE DU KOU	grès	sol près de la surface	31	100		
		horizon d'altération taches rouges dans cet horizon aspect plus gréseux	32 32 A	100 100		
			33	100		
10. ROUTE BANFORA-DOUNA. FACE TINGRELA	roche grenue mélanocrate Quartz rare Prédominance des éléments ferro- magnésiens	sol surface 0-10 cm	51	40	60	
		sol vers 20 cm	52	90	10	
		arène effondrée 40-50 cm	53	90	10	
		arène maintenue ferruginisation apparente, kaolinisation peu marquée	54	90	10	
11. STATION DE NIANGOLOKO	forage de puits, granite à — 30 m	Kaolinite couleur rose pâle, onctueux arène, mais sans structure	81 A 81 bis A 82 A	90 90 50+	10 10 50-	traces
12. ROUTE BOBO-BANFORA	Illuvions, colluvions schisto-gréseuses	sol 0-25 cm	101	70	30	
		25-60 cm	102	80	20	
		60-120 cm	103	90	10	
		vers 200 cm	104	90	10	
		vers 400 cm action de nappe	105	90	10	
13. ROUTE BOBO-MOPTI	grès cambriens	sol 0-20 cm	111	100		
		20-45 cm	112	100		
		?	113	100		
		niveau cuirassé rouge	114	100		
		altération, imprégnation fer	115	100		
		sable beige-rosé	116	100		
14. KOUGOLEKAN ROUTE BO- BO-OUAGA	schistes très feuilletés	cuirasse actuelle	A 200	90	10	
		sol rouge,	A 201	90	10	
		début de cuirassement				
		sol rouge	A 202	80	20	
		schistes très altérés, couleur rose	203	20	80	
		arène gris-vert taches de rouille	204	traces	100	
altération blanc-crème, onctueux	204 bis	50	50			

b) *Sols ferrallitiques anciens.*

Les roches-mères des sols étudiés sont les suivantes :

- Grès de la vallée du Kou;
- Granite à biotite de Dio;
- Schiste de la tranchée de Bango, sur la route Ouahigouya-Mopti.

Les renseignements concernant les profils et les résultats des analyses aux rayons X ont été groupés dans le tableau n° 3.

3. Discussion des résultats

a) *Sols ferrallitiques actuels.*

Profil 9. — Tous les échantillons contiennent 100 % de kaolinite. La ferrallitisation est avancée.

Profil 10. — La kaolinite est dominante. Si l'illite est abondante dans l'horizon supérieur, c'est qu'il y a pollution colluviale de la surface du profil : la falaise de Banfora est en effet très proche. Les 10 % d'illite qu'on trouve dans la base du profil sont vraisemblablement un héritage de la roche-mère.

Profil 11. — La kaolinisation est nette, mais l'illite est présente à 50 % en 82 A. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'on se trouve dans une zone de diaclases, où circule une nappe, et que l'altération y est de type faiblement ferrallitique.

Profil 12. — Ce profil est un sol faiblement ferrallitique. Il n'est donc pas surprenant de trouver 10 % d'illite dans les horizons 105, 104, 103. Pour expliquer l'augmentation de la teneur en illite dans le haut du profil, on peut faire appel à deux hypothèses : une pollution en surface ou un enrichissement relatif en illite, provoqué par un lessivage de la kaolinite. Cette dernière hypothèse est la plus vraisemblable, car un lessivage du sol est visible sur le terrain.

Profil 13. — La kaolinite est présente à 100 % dans toute l'épaisseur du profil. Ceci s'explique par le fait que le sol évolue sur des matériaux déjà kaolinitiques.

Profil 14. — Le profil est caractérisé par des variations considérables dans les teneurs en illite et kaolinite des différentes zones d'altération. Deux hypothèses sont proposées :

— La roche-mère est feuilletée et la kaolinisation est plus ou moins poussée, suivant les variations des lits successifs de la roche mère.

— La base du profil (204 bis, 204, 203) serait caractérisée par une altération ferrugineuse actuelle, tandis que le haut du profil (202, 201, 200) correspondrait à une altération ferrallitique ancienne, d'où la variation brusque des pourcentages en illite et kaolinite entre 203 et 202.

Il est difficile de trancher entre ces deux hypothèses.

b) *Sols ferrallitiques anciens.*

Dans les trois séries étudiées, la kaolinite est présente à 100 % dans toute l'épaisseur du profil. Les traces d'illite montrent que ce minéral résiste assez longtemps aux hydrolyses, même quand la ferrallitisation est avancée et poussée.

En résumé, les sols ferrallitiques sont tous des sols bien drainés, qu'il s'agisse du drainage externe ou du drainage interne. L'altération, extrêmement poussée, efface l'ensemble des caractères hérités de la roche mère. Ce sont tous des sols à kaolinite dominante. Les sols récents diffèrent des sols plus anciens par la fréquence d'illite, en quantité parfois appréciable.

TABLEAU N° 3

LIEU DE PRÉLÈVEMENT	ROCHE-MÈRE	OBSERVATIONS ET PROFONDEURS	N° ÉCHANT.	ARGILES	
				Kaolinite	Illite
15. VALLÉE DU KOU (PRÈS DU PROFIL 9)	grès	sol — Beaucoup d'éléments grossiers — Concrétions	A 41	100	
16. DIO ROUTE OUAHI - GOUYA A TOUGAN	granite à biotite et à quartz abondant	base de cuirasse — Kaolini- sation encore très faible — Quartz	A 251	100	
		immédiatement au-dessous de la cuirasse taches blanches et masse rouge	A 252	100	
		couleur rouge plus diffuse et plus généralisée	A 253	100	
		marne farineuse friable, à toucher onctueux — Felds- paths kaolinisés, quelques grains de quartz	A 254	100	
17. OUAHIGOUYA - MOPTI (TRANCHÉE DE BANGO)	schistes	sol très épais environ 10 m rouge foncé compact	241	100	traces
		plus friable	242	100	traces
		rouge foncé à taches blan- ches	243	100	traces
		rouge foncé à taches blan- ches, onctueux	244	100	traces

III. — LES SOLS D'ARGILES FONCÉES TROPICALES

1. Principales caractéristiques

Ces sols sont souvent encore appelés « sols d'argiles noires tropicales ». Ils présentent des aspects variés, surtout dans leur structure et leur teneur en matière organique.

Ils se développent sous des climats tropicaux, à longue saison sèche — plus de six mois. La pluviométrie annuelle excède rarement 1 100 mm, mais elle peut s'abaisser jusqu'aux environs de 350 à 400 mm.

La végétation est constituée, soit de savanes à graminées vivaces et peuplements arborés très ouverts, soit de pseudo-steppes à épineux.

La topographie est toujours plane. Ce sont des bas de pente, de vastes dépressions, de bas plateaux mal drainés, qui collectent les eaux environnantes, et où l'écoulement général est ralenti.

La roche mère consiste principalement en matériaux libérant des cations — Ca^{++} et Mg^{++} —, ou s'enrichissant secondairement en ces éléments : calcaires, marnes, roches éruptives ou volcaniques basiques.

Les caractères fondamentaux des profils sont les suivants :

- couleur noire due au complexe montmorillonite/humus;
- faible teneur en matière organique;
- teneur élevée en argile à fort pouvoir de gonflement : montmorillonite, interstratifiés;
- complexe absorbant saturé en Ca^{++} et Mg^{++} ;
- structure massive, cubique ou en plaquettes, avec présence de surfaces striées;
- présence fréquente en profondeur de nodules calcaires, parfois de concrétions de fer et de manganèse;
- souvent, apparition en surface de micro-relief « gilgai ».

Ces sols sont groupés sous le nouveau nom de « vertisols » (7th Approximation USDA, 1960), nom qui caractérise les sols qui subissent des remaniements de masse, par suite de l'alternance de mouvements de gonflement et de rétraction, liés à l'alternance de périodes humides et sèches très tranchées (MAIGNIEN, 1961).

2. Situation des prélèvements

Les sols étudiés se situent en Haute-Volta et au Sénégal. En Haute-Volta, ils s'observent sur des roches basiques ou sur des alluvions dominées topographiquement par des roches basiques. Au Sénégal, ils se développent sur des marnes. Dans l'un et l'autre cas, ils se situent toujours en position de drainage externe déficient. Mais, alors qu'en Haute-Volta, on observe de nombreux termes de passage entre les roches et les sols bien évolués, au Sénégal, le passage est brutal.

La présence de sols de transition en Haute-Volta, pose un problème de classification et de cartographie difficile. La plupart de ces sols peuvent être classés comme sols bruns eutrophes des tropiques. La tendance actuelle — notion de vertisols — est de les séparer d'après le degré de développement de leur structure. Toutes choses étant égales par ailleurs, les vertisols se distinguent des sols bruns eutrophes par la présence, dans l'un au moins de leurs horizons, d'une structure cubique ou en plaquettes, avec des faces striées sur les agrégats (slickensides).

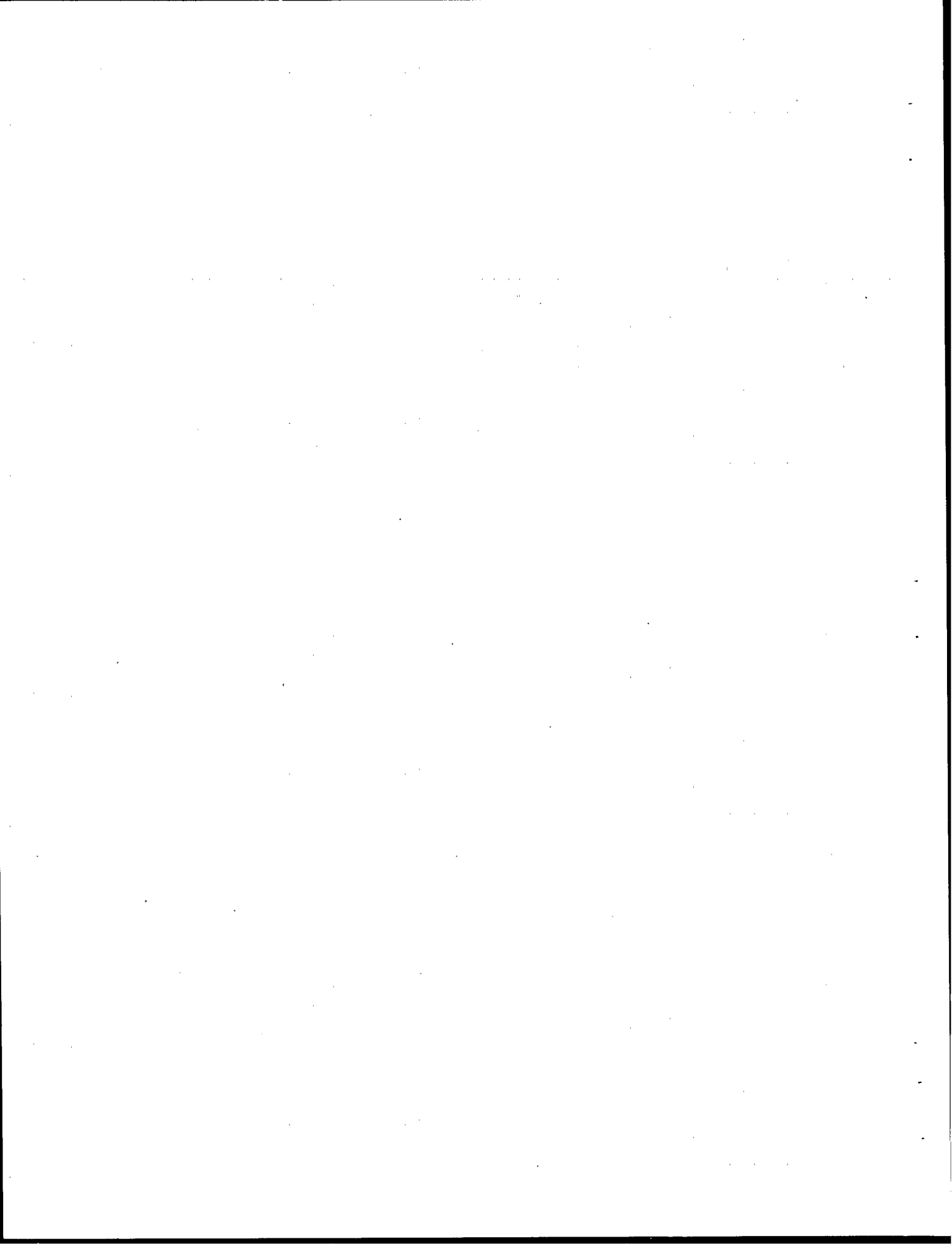


TABLEAU N° 4 (suite)

LIEU DE PRÉLÈVEMENT	ROCHE-MÈRE	OBSERVATIONS ET PROFONDEURS	N° ÉCHANT.	ARGILES				
				M	K	I	INT.	C
21. ROUTE BANFORA-DOUNA	microgranite mélanocrate	0 à 15 cm gris olive foncé structure grumeleuse	61	40	40	tr	10	
		15 à 30 cm gris olive, avec taches noires et brun-ocre structure cubique (tirsiforme)	62	60	30	tr	10	
		30 à 60 cm arène argileuse grise	63	70	20	tr	10	
		Roche-mère : arène (structure conservée)	64 III	70	10	20		tr
		écailles d'altération	64 II	80		20		tr
		noyau frais avec écailles granite (nature à préciser)	64 I	80	tr	20		tr
			64	70	10	20		tr
22. SOUKOUDOUGOU (VALLÉE DU KOU)	intrusion doléritique dans grès primaires	0 à 30 cm gris-vert, structure grumeleuse à polyédrique petites taches rouilles	121	80	20		tr	
		30 à 70 cm gris foncé, structure cubique	122	80	20		tr	
		70 à 110 cm : calcaire	123	80	20	tr	tr	tr
		70 à 110 cm hydromorphie — concrétions	124	80	20		tr	
		roche très altérée	125	+	+	+		+
23. DIAPAGA	roche verte bordant la chaîne de l'Atakora	0 à 40 cm brun foncé, structure cubique	A ₁₁	90	10	tr	tr	
		40 à 60 cm clair, structure effondrée	A ₁₂	90	10			
		60 à 90 cm altéré, structure conservée	A ₁₃	90	10			
		roche altérée	A ₁₄	100				
		roche fraîche	A ₁₅	100	tr			

TABLEAU N° 4 (in)

LIEU DE PRÉLÈVEMENT	ROCHE-MÈRE	OBSERVATIONS ET PROFONDEURS	N° ÉCHANT.	ARGILES				
				M	K	I	INT.	C
24. PLAINE DE FOULASSO	24a Alluvions hydromorphes	0 à 20 cm gris, structure polyédrique à grumeleuse	161		90	tr	10	tr
		20 à 55 cm jaune, grumeleux, quelques taches de rouille	162		80	tr	20	tr
		55 à 110 cm jaune, avec de nombreuses taches de rouille, structure grumeleuse à cubique	163		80	tr	20	tr
	24b Passage entre alluvions et Argiles foncées	0 à 20 cm apparition de la structure cubique	171		80	tr	10	10
		40 à 60 cm poupées calcaires dans l'horizon de ségrégation ferrugineuse	172		80	tr	10	10
		90 à 100 cm nodules calcaires très indurés sol non calcaire	173		100			
	24c Argiles foncées en bordure des sols alluviaux	0 à 20 cm horizon organique noir à structure cubique	151	50	30	10	10	tr
		20 à 50 cm horizon noir à structure tirsiforme	152	10	70	10	10	tr
		50 à 90 cm gris clair, nodules calcaires, structure prismatique	153		90	tr	tr	tr
	24d Sol d'Argiles foncées bien évolué	0 à 20 cm gris-noir foncé à structure cubique	141		100	tr	tr	tr
		30 à 40 cm gris à structure cubique	142		90	tr	10	tr
		40 à 80 cm clair, nodules à la base	143		80	tr	20	tr

a) *Sols d'argiles foncées tropicales de Haute-Volta.*

Les roches-mères des profils étudiés sont les suivantes :

- Schistes birrimiens de la route Bobo-Dioulasso - Ouahigouya et de Kougolekañ.
- Roches granitiques mélanocrates de Dio - Route Ouahigouya - Tougan.
- Microgranite mélanocrate de la route Banfora-Douna.
- Intrusion doléritique dans des grès primaires de la vallée du Kou.
- Roche verte de Diapaga, bordant la chaîne de l'Atakora.
- Alluvions de la plaine de Foullasso.

Une partie des renseignements relatifs aux profils, les déterminations qualitatives et les pourcentages concernant les différents minéraux argileux ont été groupés dans le Tableau n° 4.

Abréviations utilisées dans les Tableaux n° 4 et n° 5 : A : Attapulgite; C : Chlorite; I : Illite; INT. : Interstratifiés; K : Kaolinite; M : Montmorillonite; tr : traces.

TABLEAU N° 5

LIEU DE PRÉLÈVEMENT	ROCHE-MÈRE	OBSERVATIONS ET PROFONDEURS	N° ÉCHANT.	ARGILES					
				M	K	I	INT.	C	A
25. PLATEAU DE BARGNY (500 m route de M'Bour, après em- branchement principal)	marnes	0 à 40 cm brun-noir à structure cu- bique et à accumulation de CO ₃ Ca	B ₁	90	10				tr
		10 à 50 cm gris-clair, à structure cubi- que et à nodules calcaires	B ₂	70	10				20
		50 à 60 cm gris blanchâtre, à nom- breux nodules calcaires	B ₃	50	10				40
		60 à 80 cm blanchâtre et cubique, ta- ches et traînées rouilles au-dessous de 80 cm : marnes	B ₄						100
26. ROUTE DE M'BOUR A JOAL	marnes	0 à 30 cm noir bleuté, à structure cubique et tendance gru- meleuse	C ₁	100	tr				tr
		30 à 60 cm gris bleuté, à structure massive, cubique, à patine brillante	C ₂	90	tr				10
		60 à 80 cm blanchâtre, à traînées ferrugineuses : marnes altérées	C ₃	50	tr				50
		au-dessous de 200 cm : marnes	C ₄	tr					100

b) Sols d'argiles foncées tropicales du Sénégal.

— Le profil 25 (B₁ à B₄) est un profil érodé, sur une pente de 3 à 4 %. Il est essentiellement caractérisé par un colluvionnement sableux en surface et par des remontées calcaires, dues aux termites.

— Le profil 26 (C₁ à C₄) a la même roche-mère que le profil précédent, une marne papyracée. Il est situé dans une zone topographiquement plane. Il présente le relief « gilgai ».

Les caractéristiques des différents horizons des profils et les résultats des analyses aux rayons X ont été groupés dans le Tableau n° 5.

3. Discussion des résultats

a) Sols d'argiles foncées tropicales de Haute-Volta.

— Sols sur schistes birrimiens.

Profil 18. — Ce profil est un sol brun lithosolique. La chlorite doit être considérée comme provenant de la roche-mère. Celle-ci est une amphibolite, qui peut présenter une chloritisation des hornblendes et éventuellement des biotites. Il est possible que l'amphibolite soit riche en chlorite. A partir de là, il y a formation, dans la zone de départ, en milieu basique, de montmorillonite. En surface, il reste de la montmorillonite, mais il apparaît une forte teneur en kaolinite. Celle-ci s'explique par la position du sol sur une pente forte qui favorise le drainage.

Profil 19. — Ce profil est formé sur des alluvions des produits lithosoliques précédents. C'est un sol évoluant vers les argiles foncées. On observe déjà la structure cubique. Il n'y a pratiquement pas de variations dans les teneurs en minéraux argileux des horizons étudiés. Cependant, il y a avantage de la montmorillonite en 193 et avantage de l'illite en 191. Le premier point peut se comprendre par une évolution moins poussée du sol; le second, soit par des apports colluviaux ou éoliens, soit par une composition différente d'un niveau alluvial à l'autre. L'intérêt du profil est moins dans ses très légères variations de bas en haut, que dans la présence, assez considérable, de montmorillonite, dont la synthèse est favorisée par le milieu enrichi en Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ et par un drainage déficient. La kaolinite, abondante elle aussi, est une kaolinite ruisselée, qui provient du décapage des reliefs voisins.

— Sols sur roches granitiques mélanocrates.

Echantillon 20a. — C'est un sol brun lithosolique, argileux, situé sur une pente de 30 %. La fraction argileuse est constituée de 100 % de kaolinite; il y a des traces de montmorillonite, mais elles sont difficiles à saisir. Ce sol serait l'équivalent du profil 18, mais avec une kaolinisation plus poussée.

Profil 20b. — Ce profil se développe sur un niveau d'accumulation plan des produits érodés du relief voisin. La kaolinite domine encore, mais la montmorillonite est nette, avec une teneur de 40 % en bas et de 30 % en haut. Cette différence peut s'expliquer par une néosynthèse plus poussée de la montmorillonite à la base du profil, qui est à rapprocher du profil 19.

— **Profil 21** sur microgranite mélanocrate.

Ce profil est situé dans une zone topographiquement plane; il présente un mauvais drainage et un engorgement prononcé. Il se caractérise par une diminution progressive de la montmorillonite de la base vers le haut du profil, avec, parallèlement, une augmentation progressive de la kaolinite de la base vers le haut du profil. Il y a des traces d'interstratifiés illite-chlorite, probablement issus des micas de la roche-mère. Pour expliquer la teneur plus élevée en kaolinite de l'horizon de surface, on peut invoquer un meilleur drainage superficiel, favorisant la kaolinisation. En ce qui concerne la présence de montmorillonite dans une région où la pluviométrie est de 1 300 mm/an, donc en zone ferrallitique, on peut dire que l'évolution du sol se fait indépendamment du climat;

elle est régie d'une part par le mauvais drainage, d'autre part par la nature de la roche mère, dont l'altération libère une forte quantité de montmorillonite. L'illite présente est sans doute issue des micas.

— *Profil 22* sur intrusion doléritique dans des grès primaires. On a ici affaire à un glacis de piémont, montrant des variations pratiquement nulles de haut en bas du profil, sauf pour l'arène profonde, où la montmorillonite, la kaolinite et le talc apparaissent dans des proportions à peu près égales (le diagramme est difficile à lire). La présence abondante de montmorillonite n'est pas surprenante : le profil est sur une roche basique et en position de drainage déficient. La présence de kaolinite ne peut s'expliquer que par un lessivage à partir des reliefs voisins, ferrallitisés et cuirassés. On se trouve ici à la limite de la ferrallitisation : la pluviosité est de 1 100 mm/an.

— *Profil 23* sur roche verte.

C'est un profil très typique. La montmorillonite est très abondante, aussi bien dans l'altération de la roche-mère, que dans le solum, où elle est à peine mêlée de 10 % de kaolinite. La roche-mère est riche en alcalino-terreux et les conditions nécessaires à la néoformation de la montmorillonite sont réunies.

— Chaîne de sols de la plaine de Foullasso : *profils 24a, 24b, 24c et 24d*.

C'est une série progressive allant des sols alluviaux aux argiles foncées, dans une cuvette de décantation, à enrichissement en alcalino-terreux, par lessivage latéral du bassin versant.

L'étude des différents profils de cette chaîne de sols révèle deux faits inattendus :

— On pensait que la montmorillonite était présente dans ces sols, aux caractères morphologiques typiques, et qui ont un complexe absorbant formé de Ca^{++} et Mg^{++} en proportions égales, un degré de saturation supérieur à 100 % et un pH nettement supérieur à 7. Or la montmorillonite n'apparaît que dans l'horizon supérieur du profil 24c. Partout ailleurs, la kaolinite est très dominante.

— Il existe une nette différence entre les deux versants; cette différence s'explique mal, car la succession des sols est la même du haut en bas de la pente : sols ferrugineux, argiles foncées et sols alluviaux. Pour expliquer la forte proportion de la kaolinite, on peut faire l'hypothèse suivante : la roche-mère est alluviale; or ces alluvions résultent de l'accumulation de produits ruisselés des hauteurs, qui portent des sols ferrugineux tropicaux et des sols ferrallitiques. Ainsi, la fraction silicatée de la roche-mère est la kaolinite, qui est un minéral stable. Quant à la montmorillonite, présente dans le haut du profil 24c, elle se formerait peut-être en surface, par néoformation à partir de solutions en migration latérale, ou sous l'influence de roches basiques, non visibles à la surface du sol. Ces hypothèses n'expliquent néanmoins pas la structure tirsiforme, les taches de « gilgai » présentées par tous ces sols et ceci demande à être précisé par l'étude de nouveaux échantillons.

b) *Sols d'Argiles foncées tropicales du Sénégal.*

Profil 25. — Le point fondamental est que la fraction argileuse originelle de la marne est composée de 100 % d'attapulгите. Ceci est fréquent dans l'Eocène marin du Sénégal, aussi bien que dans l'Eocène des bassins sédimentaires d'Afrique Occidentale. A partir de cette roche-mère, l'altération se développe rapidement : il y a destruction de l'attapulгите, dont les pourcentages passent de 100 à 40, puis à 20, puis à des traces; au contraire, la montmorillonite passe de 0 à 50, puis à 70, puis à 90. Dans les horizons B_1 , B_2 et B_3 , des traces de kaolinite sont bien visibles. Ainsi, à partir d'une roche-mère, dont la fraction argileuse est constituée de 100 % d'attapulгите, il se forme un sol, dont la fraction argileuse est exclusivement constituée ou presque, de montmorillonite.

Profil 26. — On peut faire les mêmes remarques que pour le profil précédent. La roche mère est une marne papyracée de l'Eocène du bassin du Sénégal. La fraction argileuse est constituée de 100 % d'attapulгите, avec des traces de montmorillonite. La même évolution de la fraction argileuse se retrouve à travers le profil. Elle se résume en deux points : dégradation de l'attapulгите,

formation de montmorillonite. Les compositions chimiques de l'attapulgite et de la montmorillonite sont assez voisines; ceci rend compte de l'aisance de la transformation observée. Il est toutefois intéressant de noter l'instabilité de l'attapulgite dans ces sols, opposée à la néoformation massive de la montmorillonite.

Ainsi, les sols étudiés ici se divisent en deux catégories : les vertisols et les sols bruns eutrophes. Les conditions d'altération sont telles — richesse en Ca^{++} et Mg^{++} , drainage déficient — que la montmorillonite est leur minéral caractéristique commun. Il est donc nécessaire, pour les définir, de s'appuyer sur d'autres critères, en particulier leur structure, qui influe profondément sur la morphologie des profils. D'après ces données, les sols étudiés peuvent être classés comme suit :

- sols bruns eutrophes : nos 18, 20a et 23;
- sols bruns vertisoliques : n° 19;
- vertisols : nos 21, 22, 24c, 24d, 20b, 25 et 26.

CONCLUSIONS

Il est traditionnellement admis qu'en milieu acide, le matériel argileux qui se forme à partir d'une roche silicatée et alumineuse, est la kaolinite, alors qu'en milieu basique, riche en ions calcium et magnésium, c'est la montmorillonite qui se forme, en particulier si le drainage est insuffisant. L'étude des échantillons a montré :

— L'influence de la roche-mère sur la formation de montmorillonite.

Dans les profils 22 sur intrusion doléritique dans des grès primaires, 23, sur roche verte de l'Atakora, 25 et 26 sur marnes papyracées, la montmorillonite est très abondante dans tous les horizons. Ceci s'explique aisément par l'abondance, dans toutes ces roches-mères, des ions Ca^{++} et Mg^{++} .

— L'influence du drainage.

Les profils 18 et 19 correspondent à des roches-mères semblables, des schistes birrimiens à amphibolites, relativement riches en alcalino-terreux. Dans le profil 18, il n'y a pas formation de montmorillonite, alors que dans le profil 19, ce minéral argileux apparaît en grande quantité. La seule différence entre ces deux profils est que le premier est sur une pente de 30 %, soumise à un libre drainage, alors que le second est caractérisé par un drainage déficient, en milieu enrichi en calcium et magnésium.

Le drainage est intimement lié à la topographie; il est aussi lié aux propriétés physiques de la roche-mère : si elles sont telles qu'elles gênent la libre percolation de l'eau du sol, les ions libérés à partir du matériel parental, et en particulier les cations, ne sont pas lessivés; le pH reste haut et la montmorillonite peut se former.

Ces exemples montrent clairement que la formation de montmorillonite dans un sol est liée à la fois à la présence d'une roche-mère riche en alcalino-terreux et à un drainage déficient. La présence d'un matériel parental basique est nécessaire, mais non suffisante : en effet, si le calcium et le magnésium sont lessivés, aucune synthèse montmorillonitique n'est possible. De la même façon, un mauvais drainage est nécessaire, puisqu'il maintient le milieu basique, mais non suffisant, puisqu'il faut que les éléments à concentrer dans le milieu soient présents, grâce à la roche mère.

Ainsi, on peut dire que, lorsqu'on a une roche basique, la montmorillonite apparaît, dès que se manifeste une certaine déficience de drainage.

Ce développement de la montmorillonite se produit, quel que soit le type d'altération normal et fréquent, dans les différents domaines climatiques de ces régions :

— Dans le domaine de l'altération ferrugineuse, on peut citer l'exemple des sols développés sur talc-schiste ou roches à éléments noirs, qui fournissent les éléments nécessaires à la formation de la montmorillonite. Quand le drainage est mauvais, comme c'est le cas dans le profil 2, la mont-

morillonite est présente en quantité importante dans toute l'épaisseur du profil. Par contre, quand le drainage s'améliore, comme cela arrive fréquemment dans les horizons de surface, la kaolinite redevient prépondérante : c'est ce qu'on trouve dans le profil 8, où la montmorillonite, très nette dans l'horizon de départ, est très affaiblie dans l'horizon supérieur.

— Dans le domaine de l'altération ferrallitique, il existe un exemple très démonstratif sur la route Banfora-Douna, en Haute-Volta. Il s'agit de deux sols, très peu éloignés l'un de l'autre et tous deux sur roche-mère mélanocrate à quartz rare et prédominance d'éléments ferro-magnésiens. Il s'agit des profils 10 et 21. Le premier est un sol ferrallitique à kaolinite typique; le second, au contraire, est caractérisé par une montmorillonite abondante, tout en étant dans une zone ferrallitique, où la pluviométrie est de 1 300 mm/an. Le processus climacique est contrebalancé par la nature de la roche mère, riche en alcalino-terreux et par la position du sol, en drainage déficient.

En conclusion, parmi les sols d'Afrique Occidentale étudiés dans ce travail, on doit distinguer :

— A un pôle, les sols à montmorillonite dominante, caractérisés par un drainage déficient et une grande richesse de la roche mère en alcalino-terreux : ce sont les argiles foncées tropicales appartenant au groupe des vertisols.

— Au pôle opposé, les sols à kaolinite dominante, caractérisés par un bon drainage. Ce sont les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques.

Entre ces deux pôles, tous les intermédiaires possibles sont observables et constituent, *grosso modo*, les sols bruns eutrophes des régions tropicales.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT G. (1958). — Classification des Sols. *Bull. ORSTOM*, VIII, 2, p. 1-3.
- AUBERT G., MAIGNIEN R. (1947). — Les sols du Sénégal au nord de la Gambie britannique. *Extrait des C.R. du Congrès de Pédologie* (Montpellier, Alger), 9-20 mai.
- DUCHAUFOUR P. (1960). — Précis de Pédologie. Masson et C^{ie}, Paris, 438 p.
- GRIM R. E. (1953). — Clay Mineralogy. New York, Toronto, London, McGraw. Hill Book Company Inc, 384 p.
- LENEUF N. (1954). — Les sols du secteur cotonnier de Haute-Volta. *Extrait des C.R. de la deuxième Conférence inter-africaine des Sols*, Léopoldville, Document n° 78, p. 971-991.
- LOZET J. (1955). — Considérations sur les terres noires tropicales. *Bull. Agric. du Congo Belge*, vol. 46, n° 2, p. 251-260.
- LUCAS J., CAMEZ Th., MILLOT G. (1959). — Détermination pratique aux rayons X des minéraux argileux simples et interstratifiés. *Bull. Serv. Carte Géol. Als.-Lorr.*, tome 12, fasc. 2, Strasbourg, p. 21-31.
- MAIGNIEN R. (1961). — Sur les sols d'argiles noires tropicales d'Afrique Occidentale. *Bull. A.F.E.S.*, Paris, 8 août 1961, p. 131-144.
- MILLOT G. (1949). — Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses (Thèse, Nancy). *Géologie Appliquée et Prospection Minière*, Nancy, tome II, nos 2, 3, 4, 352 p.
- MOHR E. C. J., BAREN F. A. VAN (1959). — Tropical soils. A critical study of soil genesis as related to climate, rock and vegetation. N. V. Uitgeverig W. van Hoeve; Ed. The Hague and Bandung, 498 p.
- PAQUET H. (1961). — Etude de la fraction argileuse de quelques sols d'Afrique. Thèse, 3^e cycle, Strasbourg.
- PLAISANCE G., CAILLEUX A. (1958). — Dictionnaire ds Sols. La Maison Rustique, Paris, 604 p.
- PUJOS A. (1957). — Terres rouges, noires, grises. *Soc. Sci. Nat. et Phys. Maroc*, Trav. Section Pédol., tome 12.
- SEGALEN P. (1957). — Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar (Thèse, Paris). *Mém. Inst. Sci. de Madagascar*, série D, tome VIII, 182 p.

- SINGH S. (1954). — A study of the black cotton soils with special reference to their coloration. *Journ. of Soil Sci.*, July, p. 289.
- SOIL classification. A comprehensive system. 7th approximation. *Soil survey Staff. Soil Conserv. United States Depart. of Agric.*, août 1960, 265 p.
- TESSIER F. (1950). — Contribution à la Stratigraphie et à la Paléontologie de la partie ouest du Sénégal (Crétacé et Tertiaire). Thèse présentée à la Faculté des Sciences de Marseille, tome 1, n° d'ordre 47, 267 p.