

ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DES SOLS DE YAOUNDÉ

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA PÉDOGÉNÈSE DES SOLS FERRALLITIQUES

par

G. BACHELIER

Maître de Recherches à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

INTRODUCTION

C'est après avoir étudié au Cameroun les sols de la région de Yaoundé, que nous avons rédigé ce texte comme une contribution à l'étude de la genèse et de la destruction des sols ferrallitiques.

Le sol de Yaoundé est en effet un sol rouge latéritique * forestier classique, tel qu'on le trouve décrit dans la littérature : horizon rouge plus ou moins superficiellement lessivé qui peut atteindre dans les conditions favorables une profondeur de 4 à 10 mètres, puis, horizon gravillonnaire, horizon tacheté et horizon d'altération de la roche-mère.

Mais, entre la roche-mère qui s'altère et le sol bien développé, qui correspond au pédoclimax, de nombreux stades intermédiaires existent ; de même entre ce sol et la roche-mère remise à nu par l'érosion.

Nous partirons donc de l'embranchement dénudée, qui constitue la roche-mère et nous nous efforcerons d'expliquer la pédogénèse du sol ferrallitique évolué puis, envisageant le rôle de l'érosion, nous reviendrons, après disparition complète du sol, à l'embranchement initiale.

Nous verrons alors les différentes « chaînes de sols » ou « catena », que l'on peut rencontrer sur les pentes et nous terminerons par quelques données sur les sols hydromorphes des bas-fonds.

* On tend maintenant, en pédologie, à dénommer les sols latéritiques « sols ferrallitiques », ce qui est plus précis étant donné la confusion qui a longtemps régné dans la définition des sols latéritiques. Nous nous conformons à ce nouvel usage dans la suite de ce rapport.

Note de la Rédaction. — Les articles publiés dans *L'Agronomie Tropicale*, quelle que soit la personnalité ou la fonction de leur auteur, n'expriment qu'une opinion personnelle et ne sauraient être considérés comme une indication de la politique ou des intentions du Département.

Mais, avant toute donnée pédologique, il est nécessaire de préciser les facteurs du milieu écologique qui ont contribué à déterminer ces sols.

Milieu écologique.

La région de Yaoundé est située sous 3° 52' de latitude nord et sous 11°32' de longitude est, à l'altitude de 760 mètres.

Le relief local est très accidenté et la ville elle-même s'étend sur plusieurs collines hautes de 25 à 50 mètres.

Une forêt secondaire très éclaircie entoure l'agglomération.

Les quelques données fournies dans le schéma ci-joint résument le climat local.

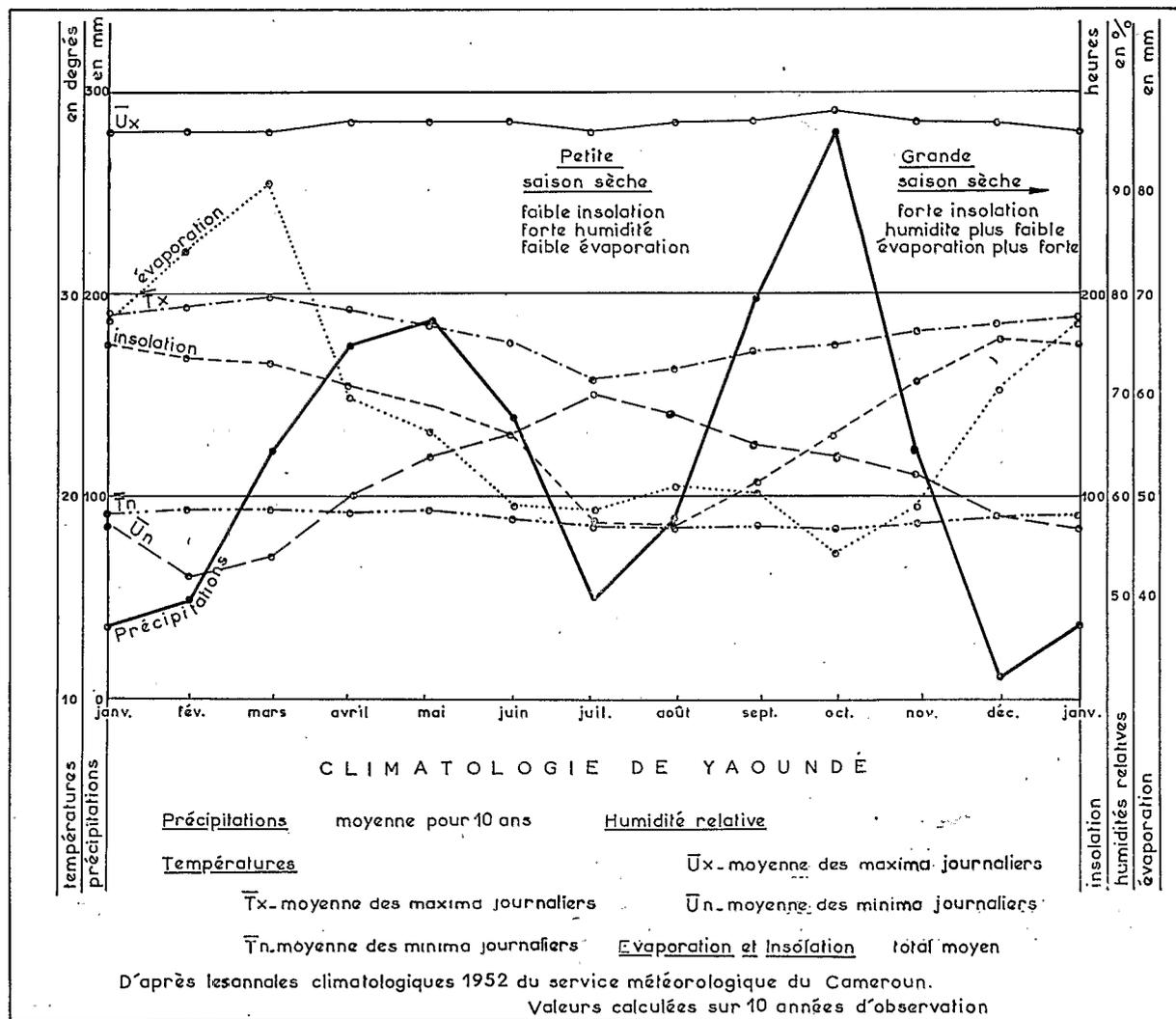


Fig. 1

Le régime des pluies est « subéquatorial classique » avec deux saisons des pluies et deux saisons sèches d'importance respectivement inégale.

La moyenne annuelle des jours de pluie est de cent quarante jours.

Il est à noter du point de vue pédologique que, même à précipitations égales, l'évaporation est bien plus faible pendant la petite saison sèche que pendant la grande ; ceci est dû à une différence dans l'insolation qui entraîne une différence dans l'humidité relative.

La température varie peu ; seule la courbe de la moyenne des maxima journaliers s'infléchit pendant la petite saison sèche.

La moyenne annuelle est de 23,5°C avec 33° de maximum absolu et 14° de minimum absolu.

Pour l'humidité, relative, la moyenne des maxima journaliers reste pratiquement constante toute l'année, mais la moyenne des minima est nettement plus forte pendant la petite saison sèche que pendant la grande d'où, ainsi que nous l'écrivions plus haut, une différence dans l'humidité relative moyenne.

PÉDOGENÈSE DU SOL ROUGE FERRALLITIQUE DE YAOUNDÉ

Roche-mère des sols de Yaoundé

Type n° I de la légende de la carte : affleurements rocheux.

Echantillons analysés :

YR², embréchite saine de la carrière de Mvolye.

YB, grenats de l'embréchite.

(cf. Tableau I).

TABLEAU I

Y R² = embréchite saine.

Y B = grenats en voie d'altération

Numéros des Echantillons	Bases totales				P ₂ O ₅	Analyse totale							
	m. eq. pour 100 g.					Total %	Quartz + ins. %	Si O ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Ti O ₂ %	Perte au feu %	Total
	Ca	Mg	K	Na									
Y R ²	32,6	159	48,5	1,6	1,7								
Y B						35,5	4,4	7,7	35	0,7	14,1	97,4	

La roche-mère qui constitue le substratum géologique des sols de Yaoundé est une embréchite à grenats, traversée selon les lieux, par de plus ou moins nombreux filons de quartz.

C'est une roche acide, où le fer est essentiellement inclus dans les micas noirs et les grenats (cf. analyse totale de ces derniers : 35 % de Fe₂O₃).

Le magnésium y est abondant, le potassium bien représenté, le calcium très moyen, le sodium et le phosphore très faibles.

L'altération de cette roche n'est pas la même, selon qu'elle a lieu en surface, en profondeur ou dans les bas-fonds inondés.

Nous n'étudierons tout d'abord que l'altération en surface, les deux autres formes d'altération devant être examinées plus loin avec les sols ferrallitiques évolués et les sols hydromorphes.

Altération de l'embréchite en surface. Sol brun sur embréchite

Type n° II de la légende de la carte.

Echantillon analysé :

Y 51 : terre brun-foncé du sommet de la colline Nkolnyada.

(cf. Tableau II).

TABLEAU II

Y 51 = Sol brun

Y 71 = Sol brun rouge à brun jaune

Y 101 = Sol de recouvrement

Echantillons	Mesures physiques				Analyses mécaniques					Bases échangeables								
	Profondeur (en cm)	Couleur au Code expolaire	Porosité p. 100 cm ³	Rét. eau p. 100 g.	100				Gravier %	m. eq. pour 100 g						S T	Mg Ca	Na Ca
					Argile	Limons	Sable fin	Sable gross.		Ca	Mg	K	Na	S	T			
Y 51	0-20	brun foncé J 32		43	23,5	22,5	28	26	3	11,5	2,3	0,42	<0,1	14,3	29	0,49	0,20	<0,01
Y 71	5-20	brun E 54	48	37,7	37	16	34,5	12,5	0,1	0,85	0,73	0,25	<0,08	1,8	11	0,16	0,86	<0,09
Y 101	5-20	brun E 72	46	35	31	15	36	18	2,1	1,90	0,93	0,45	0,08	3,4	10,6	0,32	0,49	0,04

Echantillons	Bases totales				P ₂ O ₅ Total ‰	Matières organiques					pH	Analyses totales									
	m. eq. pour 100 g.					N ‰	C ‰	M. O. ‰	C N	Humus ‰		Quartz + ins. %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Bases totales %	Perte au feu %	Total	SiO ₂ Al ₂ O ₃	
	Ca	Mg	K	Na																	
Y 51.....	22,4	17,5	2,5	0,7	5,1	2,82	4,65	8,0	16,5	1,5	6,7	46,6	13,3	12,4	6,8	0,81	1	17,6	98,5	1,8	
Y 71.....	6,4	8,2	1,04	0,65	0,96	1,6	1,87	3,22	11,6	0,56	6,2	46,3	16,7	14,6	6,5	0,81	0,4	12,8	98,1	1,94	
Y 101.....	7,5	9,25	1,62	0,60	0,93	1,33	1,38	2,38	10,3		6,5	36,1	20,7	18,6	10,0	1,42	0,5	10,8	98,1	1,89	

Partout, où la roche affleure à l'air, elle ne semble que très superficiellement altérée mais, dès qu'elle est recouverte d'un peu de terre, l'altération devient plus profonde et plus rapide, ainsi que le montre souvent l'existence d'un petit décrochement d'environ un centimètre autour des roches affleurantes. Maintenu en effet dans un milieu plus humide, elle subit une altération physicochimique plus poussée, à laquelle se surajoute l'action corrosive et complexe des végétaux, de la microfaune et de la microflore.

La résultante de cette altération est une terre brune qui constitue des sols peu profonds où l'embréchite affleure.

Ces sols d'abord sablo-argileux ou plus rarement sablo-limoneux deviennent rapidement argilo-sableux et même argileux, comme on peut en juger par la distribution très inégale des différents stades d'évolution du sol rouge ferrallitique.

Ils possèdent en général une bonne structure, s'avèrent encore peu lessivés et souvent assez humifères ; leur richesse chimique tant en éléments échangeables que totaux est satisfaisante.

Le fer y est encore peu individualisé.

On rencontre ces sols sur les pentes ou les sommets des collines. Ils sont très appréciés des indigènes, qui les cultivent surtout en manioc, et ils tendent, à proximité des cases ou sur l'emplacement d'anciennes demeures, à donner des sols de très bonne qualité.

Tel est le cas pour l'échantillon de sol Y 51 prélevé au sommet de la colline Nkolnyada et analysé ici.

De nombreux débris de poterie indiquent une ancienne occupation humaine de cette colline. Les sols y apparaissent très fertiles ; renfermant 15 m. eq. pour 100 g* de bases échangeables avec un degré de saturation (S/T) de 0,5, ils s'avèrent riches en bases échangeables, en bases totales, en phosphore et en azote. Ils sont par ailleurs assez organiques (8 % en Y 51) et la fraction acides humiques est très élevée pour des sols du Sud-Cameroun (1,5 ‰ en Y 51).

Le pH de ces sols est légèrement acide (pH de 6,7 pour Y 51).

Sols plus profonds, brun-rouge en surface, généralement brun-jaune en profondeur

Type n° III de la légende de la carte.

Echantillon analysé :

Y 71, échantillon prélevé à l'ouest du plateau Atemengué.

(cf. tableau II).

Le sol brun en s'approfondissant devient plus argileux et un horizon lessivé s'y différencie. Les hydroxydes de fer libres deviennent plus importants et le sol prend une couleur plus rouge.

Toutefois, en profondeur, ces sols sont souvent de couleur ocre-jaune sous l'influence d'un régime hydrique plus prononcé, qui tend à modifier la couleur du fer individualisé. La localisation de ces sols, en contre-bas des précédents et plus généralement sur les pentes, explique cette humidité plus forte dans les horizons profonds. Nous retrouverons ce changement de couleur avec les « sols de bas-fonds exondés ou de bordure de bas-fonds ».

En surface, la couleur reste encore assez sombre et il est souvent difficile sur le terrain, en l'absence de coupe, de juger du degré d'évolution de ces sols.

Chimiquement, ils sont tout de suite beaucoup plus pauvres que les sols bruns précédents, mais ils restent cependant un peu plus riches que les sols rouges ferrallitiques évolués qui forment le terme de cette pédogénèse.

L'échantillon de sol Y 71 en est un exemple.

L'évolution pédologique se poursuivant, nous arriverons progressivement aux sols rouges ferrallitiques évolués.

Sols rouges ferrallitiques évolués

Types n° IV et V de la légende de la carte.

Trois profils ont été plus spécialement étudiés :

* m. eq. pour 100 g = milli-équivalent pour 100 grammes.

profil Y 1, trou de 11 mètres creusé dans la réserve des Eaux et Forêts sur la route de M'Balmayo.

profil Y 2, coupe de 5,40 m localisé en bordure du terre plein des billes de bois au sud de la colline Mfounassi.

profil Y 4, trou de 5,20 m creusé dans la concession de l'IRCam.

Les schémas de ces différents profils, qu'accompagne la représentation graphique de leur granulométrie et de leurs pH, sont donnés ici avec les résultats analytiques des échantillons prélevés.

(cf. figures 2, 3 et 4) (cf. tableaux III¹ et III²).

TABLEAU III¹

(SOLS ROUGES FERRALLITIQUES ÉVOLUÉS)

Echantillons		Mesures physiques				Analyses mécaniques					Bases échangeables								
Numéros	Profondeur (en cm)	Couleur au code expolaire	Porosité p. 100 cc.	Rét. eau p. 100 g.	100				Gravier %	m. eq. pour 100 g.						S/T	Mg/Ca	Na/Ca	
					Argile	Limons	Sable fin	Sable gross.		Ca	Mg	K	Na	S	T				
Y 2/1	20	rouge-jaune E 46	32,8	34,4	36,5	14,5	34	15	0,4	0,8	1,41	0,17	0,24	1,61	7,4	0,22	1,04	0,11	
2	120	rouge E 36	45,7	42,1	66,5	6	22	5,5	1,4	< 0,2	< 0,5	0,05	0,10	< 1	8	< 0,12			
3	230	rouge E 38	46,5	43,7	61	10	21,5	7,5	2,8	< 0,2	< 0,5	0,05	0,08	< 1	6,7	< 0,15			
4	270	»	cf. texte	42,4	50	16,5	22,5	11	68	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,08	< 1	6,7	< 0,15			
5	400	»	49,1	42,1	40	16	33	11	13,4	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,08	< 1	6,8	< 0,15			
6	490	»	46,9	41,5	46	17,5	28	10	11,2	< 0,2	< 0,5	0,05	0,08	< 1	5,8	< 0,17			
7	520	blanc à jaune-rouge D 48	37,2	26,3	10	15	29	46	50	< 0,2	< 0,5	< 0,05	< 0,08	< 1	4,1	< 0,24			
8	560	embréchite altérée																	
Y 4/1	0-3	brun			15	24	42	19	0,2										
2	15				35,5	16	36	12,5	0,2	1,04	1,06	0,15	0,10	2,35	9	0,26	1,02	0,02	
3	40	brun-jaune			54	11,5	24,5	10	0,2	1,04	0,60	0,25	0,42	2,31	8,8	0,26	0,58	0,40	
4	70	»			57,5	12,5	21	9	0,5	0,66	< 0,5	0,08	0,13	1	8,3	0,12	< 0,8	0,20	
5	100	»			56,5	9,5	21,5	12,5	8	0,52	< 0,5	0,10	0,15	1	8,9	0,11	< 1	0,29	
6	140	»			50,5	13	24	12,5	22	0,48	< 0,5	< 0,05	0,17	1	8,1	0,12	< 1,1	0,35	
7	190	»			52,5	15,5	22	10	3,7	0,28	< 0,5	< 0,05	0,21	< 1	8,6	< 0,12	< 1,9	0,75	
8	240	»			54	18	19	9	3	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,20	< 1	7,5	< 0,13			
9	290	»			49	22	18,5	10,5	2,8	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,20	< 1	8,4	< 0,12			
10	340	»			34	20,5	29,5	16	1	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,21	< 1	8,5	< 0,12			
11	390	»			39	19,5	27,5	14	1	< 0,2	< 0,5	0,05	0,15	< 1	11	< 0,09			
12	440	»			7,5	15	48,5	29	négl.	< 0,2	< 0,5	< 0,05	< 0,08	< 1	7,9	< 0,13			
13	490	»			7	12	54	27	négl.	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,17	< 1	10,6	< 0,09			
Y 1/1		Surf. brun-rouge rouge			22	14	26	38	négl.	2,61	1,06	0,82	< 0,08	4,5	8	0,72	0,41	0,31	
2	50	»			57	8,5	19,5	15	négl.	0,18	< 0,5	0,10	< 0,08	< 1	6,4	< 0,19		< 0,4	
3	100	»			60,5	7	17,5	15	négl.	< 0,2	< 0,5	0,10	< 0,08	< 1	7,1	< 0,16			
4	150	»			61,5	7	17	14,5	négl.	< 0,2	< 0,5	0,10	0,10	< 1	6,1	< 0,16			
5	200	»			64	7,5	15,5	13	négl.	< 0,2	< 0,5	0,10	0,15	< 1	6,6	< 0,18			
6	250	»			66,5	8	14	11,5	négl.	< 0,2	< 0,5	0,10	< 0,08	< 1	7,1	< 0,18			
7	400	»			66	7,5	15,5	11	0,3	< 0,2	< 0,5	0,05	< 0,08	< 1	6,4	< 0,17			
8	550	»			63	11	15,5	10,5	0,7	< 0,2	< 0,5	0,08	< 0,08	< 1	5,7	< 0,17			
10	700	»			61	11	17	11	1,1	< 0,2	< 0,5	< 0,05	< 0,08	< 1	5,6	< 0,17			
11	830	»			57	13	18	12	5,2	< 0,2	< 0,5	0,10	0,13	< 1	6	< 0,18			
12	860	»			51	12	20,5	16,5	56	< 0,2	< 0,5	0,10	0,20	< 1	6	< 0,18			
13	980	»			37	10	23	30	45,5	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,8	< 1	4,5	< 0,19			
14	1 030	»			31,5	12	25,5	31	27	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,15	< 1	11,7	< 0,16			
15	1 110	»			38,5	14	27	20,5	3,5	< 0,2	< 0,5	< 0,05	0,13	< 1	10	< 0,17			
Y 91	10-20	brun-rouge foncé J 22	48,7	42,3	39	20,5	28	12,5	0,4	2,9	1,26	0,25	< 0,08	4,4	17,5	0,25	0,43	0,03	

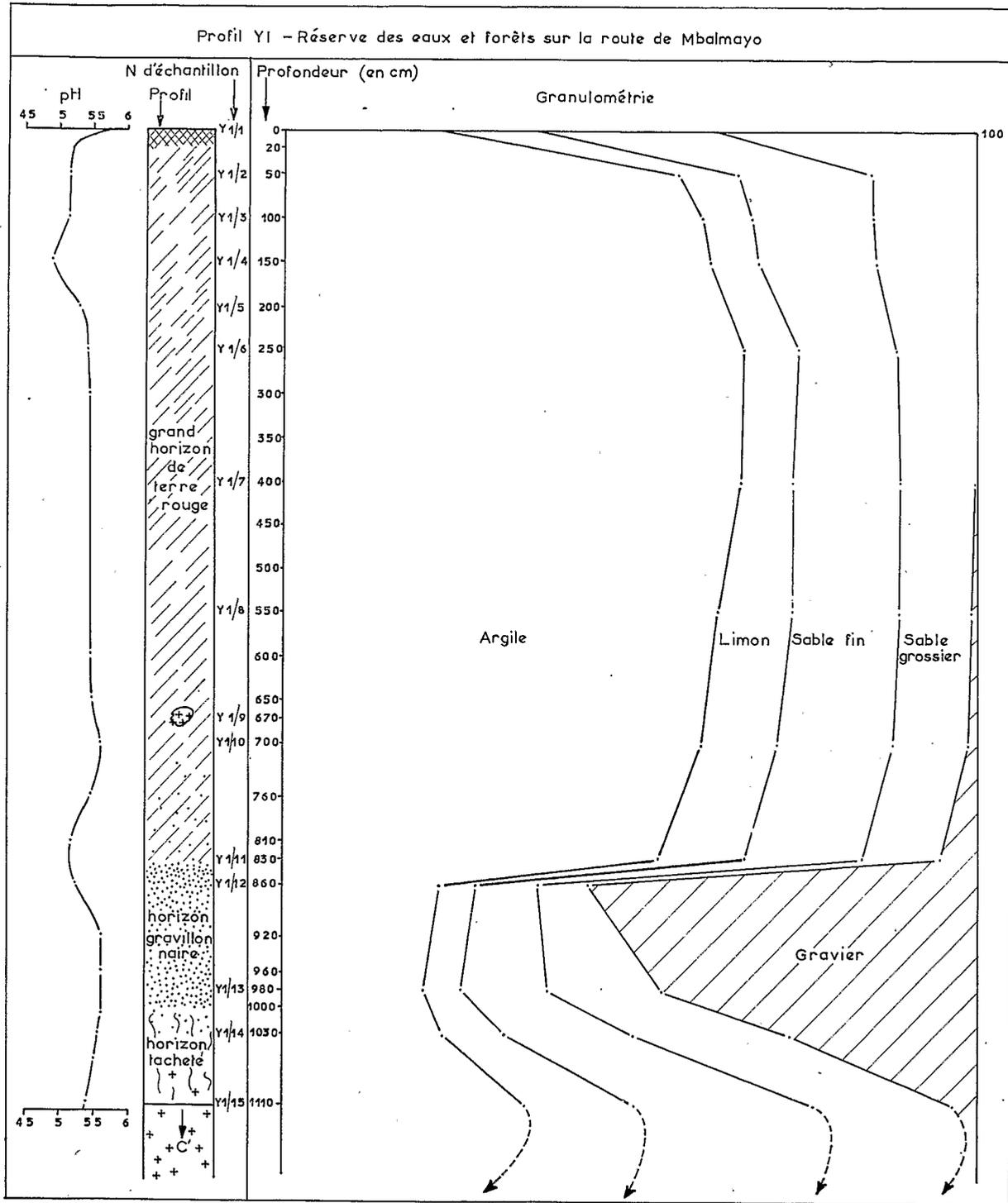


FIG. 2

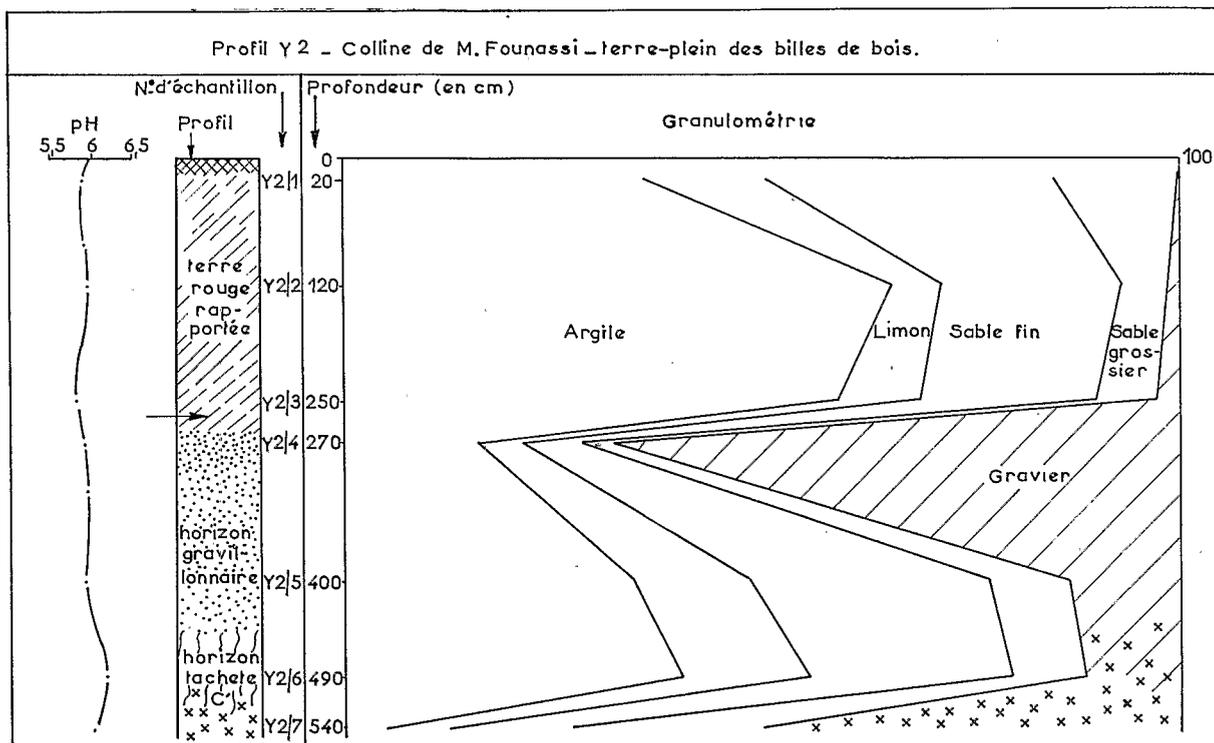


FIG. 3

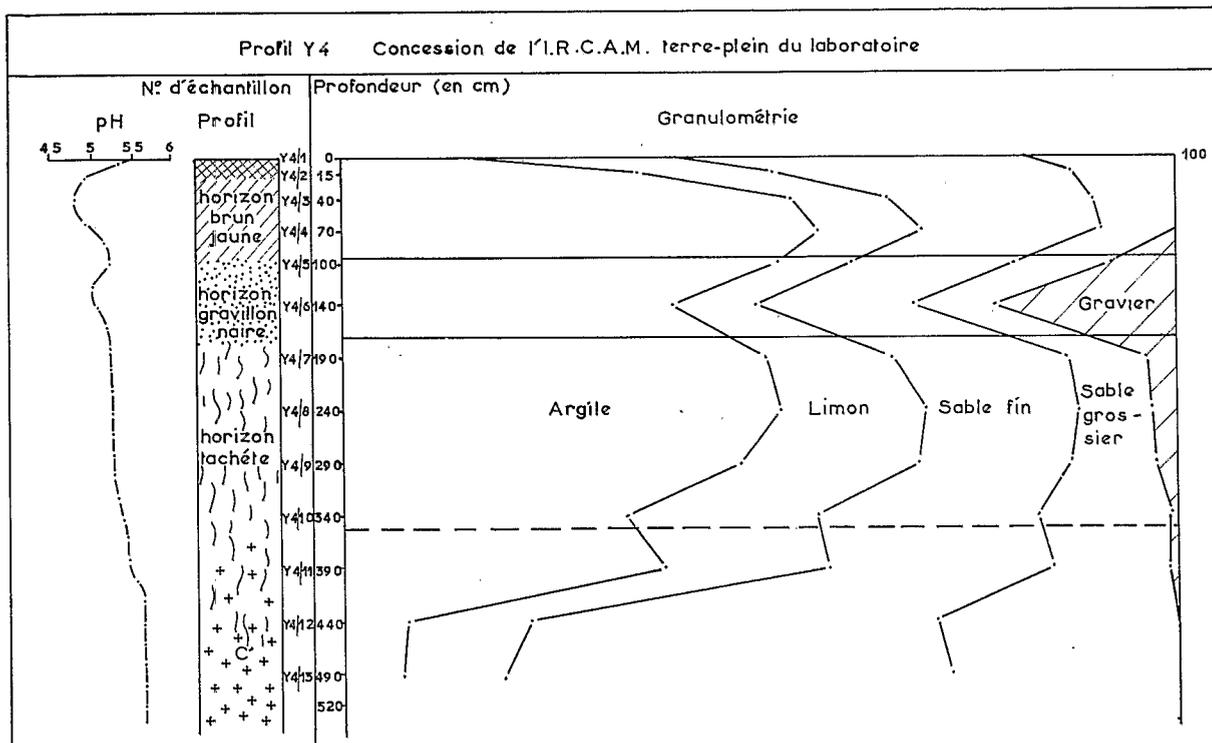


FIG. 4

Les sols brun-rouge, que nous venons de voir, se localisent en contre-bas des sols bruns sur embréchite et plus qu'une évolution du sol brun en place, nous devons considérer l'évolution de la terre brune transportée.

Quant aux sols rouges ferrallitiques profonds, ils sont très vieux, et, sauf cas exceptionnels, comme peut-être, les sols du plateau Atemengue ou ceux du plateau de la Mission Protestante Américaine, nous ne les considérons pas en place.

Nous pensons pouvoir schématiser ainsi la pédogénèse des sols de Yaoundé :

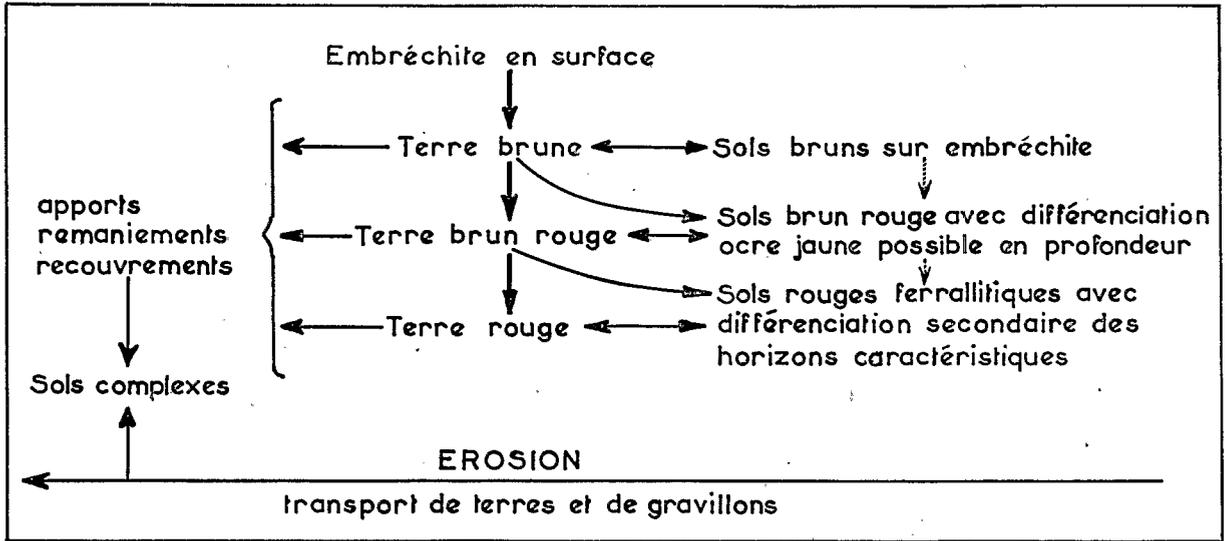


FIG. 5

Ceci revient indirectement à juger les sols évolués de Yaoundé comme des sols généralement formés sur des matériaux d'apport.

Un sol rouge ferrallitique évolué dans cette région ne résulterait pas, sauf exceptions très rares, de l'évolution d'un sol brun (hypothèse représentée sur notre schéma par des flèches en pointillés) mais de la différenciation secondaire d'une accumulation de terres.

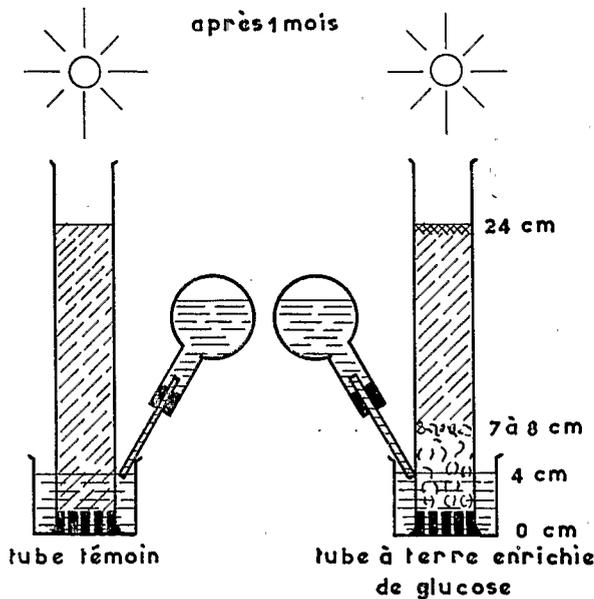


FIG. 6

Expérience.

En nous inspirant des techniques BETRE-MIEUX-HENIN, nous avons essayé de reconstituer expérimentalement un tel profil à partir d'une colonne de terre rouge ferrallitique.

Pour cela, nous avons choisi deux tubes de verre de 5 cm de diamètre, bouchés à la base par un bouchon perforé de nombreux trous, et nous avons rempli ces tubes de 25 cm de terre rouge tamisée à 2 m/m ; la terre destinée à l'un de ces tubes avait été enrichie en glucose, la terre destinée au tube témoin laissée telle quelle.

Après un léger tassement des terres par tapotement sur les tubes, nous avons plongé ces derniers dans des béciers d'eau et allumé au-dessus une lampe électrique pour favoriser le mouvement *per ascensum* du liquide tout en créant un certain dessèchement superficiel.

Au bout de vingt jours, nous avons pu constater dans le tube glucosé la formation d'une couche ferrugineuse en profondeur et secondairement, en dessous de cette couche, l'apparition de taches ocre-jaune caractéristiques d'un milieu devenu réducteur. Ces taches s'étendirent ensuite rapidement pour donner un horizon tacheté.

De plus, au bout d'un mois et demi, sous l'effet du glucose venu s'accumuler en surface, un léger brunissement de l'horizon supérieur apparut en formant ainsi un horizon très légèrement humifère ; des bactéries aérobies pouvant synthétiser certains humus durent en être la cause.

Nous tirerons les conclusions de cette expérience en essayant maintenant d'interpréter les différents horizons que l'on rencontre habituellement dans les sols rouges ferrallitiques évolués.

Nous rappellerons ensuite en quoi consiste la latéritisation.

L'horizon gravillonnaire.

L'horizon gravillonnaire se forme en profondeur à un niveau déterminé par les phénomènes d'oxydo-réduction.

Ce niveau semble correspondre au passage des conditions anaérobies aux conditions aérobies et, par suite, se situer au-dessus de la nappe phréatique ; il varie donc avec les saisons mais non proportionnellement au temps, d'où une zone de concrétionnement plus faible que la zone des variations de ce niveau.

De plus, nous pensons que les ferro-bactéries jouent peut-être un rôle dans les dépôts ferrugineux et il nous faudrait alors envisager une zone de concrétionnement encore plus étroite et correspondant, à l'échelle annuelle, au milieu de vie possible pour ces bactéries. Nous aurions là un « niveau biologique » comparable aux niveaux biologiques qui, au bord de la mer, déterminent les niveaux d'algues à la base des rochers.

Ceci n'est qu'une hypothèse gratuite mais, quoiqu'il en soit, la zone de concrétionnement est bien délimitée et sa formation paraît liée à des processus d'oxydo-réduction, que ce soit directement ou indirectement par l'intermédiaire de ferro-bactéries.

Une variation dans le régime hydrique du sol entraîne un changement de cette zone, ce qui explique dans certains profils la présence de deux horizons de concrétions formées *in situ*.

Dans notre expérience, l'introduction de glucose dans la terre a déclenché une prolifération intense de micro-organismes très divers, dont le métabolisme a provoqué une dissolution du fer. Ce dernier a migré sous forme de complexes organiques, et, en passant du milieu où il a été réduit et dissout à un milieu plus aéré, il s'est de nouveau déposé, le complexe organique se trouvant alors détruit et le fer reoxydé.

Dans la nature, indépendamment de la dissolution naturelle du fer en milieu légèrement acide, qui est faible, il existe de nombreux complexes minéraux et organiques, qui peuvent en faciliter la dissolution et l'entraînement dans des conditions différentes.

En surface et dans les horizons supérieurs, les acides humiques formés par la destruction rapide des débris végétaux facilitent le lessivage du fer, qui se trouve entraîné en profondeur ou latéralement dans les sols de pente.

Inversement en profondeur, la base de la zone tachetée et la zone d'altération de l'embréchite sont appauvries en fer par lessivage profond ou remontée capillaire du fer réduit.

Pendant la saison des pluies, le sol, surtout sous forêt, est gorgé d'eau et l'écoulement des pluies a lieu surtout sous forme de ruissellement ou d'écoulement latéral dans les sols de pente ; les conditions d'oxydo-réduction sont mauvaises pour le concrétionnement.

Pendant la saison sèche, l'horizon de terre rouge devient progressivement plus perméable à l'air, mais les dépôts de fer qui peuvent s'amorcer ne sont pas alimentés par suite du dessèchement du sol et, seule, la formation de pseudo-sables paraît possible. Au contraire, quand on atteint la zone où les remontées capillaires de la nappe phréatique arrivent, zone correspondant au niveau de concrétionnement envisagé, les dépôts de fer peuvent librement grossir et donner des pisolithes.

Ainsi le fer lessivé dans les horizons supérieurs, sous l'influence des acides humiques issus de la destruction des débris végétaux, nous paraît surtout entraîné au loin pendant la saison des pluies, et, en saison sèche, plus que le dessèchement de l'horizon d'accumulation B, c'est un certain niveau

d'oxydo-réduction alimenté par les remontées capillaires d'une nappe phréatique riche en fer réduit, qui nous paraît permettre un développement rapide de l'horizon gravillonnaire.

Pour être complet, nous devons rappeler le rôle important, que joue la végétation dans le régime hydrique du sol, et la possibilité pour les hydroxydes de fer, quand ils sont très abondants, de « s'auto-agglomérer » localement.

En bordure des plateaux, les sols rouges ferrallitiques se trouvent érodés, et les horizons gravillonnaires et tachetés donnent des cuirasses de thalweg, qui ceinturent ces plateaux, et se trouvent constamment enrichies par les apports de la nappe phréatique, dont elles freinent l'écoulement.

Quant aux sols de pente, par suite d'un drainage continu, ils ne renferment que très rarement des horizons gravillonnaires formés *in situ*, mais, par contre, peuvent renfermer de nombreux pisolithes ou débris cuirassés colluviaux ; nous le reverrons en étudiant les « chaînes de sols ».

L'horizon tacheté et l'horizon d'altération de la roche-mère.

L'horizon tacheté est dû à la nappe phréatique et se forme dans des conditions, rappelant, en moins prononcées, celles de la formation des horizons de gley.

Généralement très plastique et de structure fondue à l'état humide, cet horizon peut être plus ou moins épais et n'est pas forcément proportionné à l'horizon gravillonnaire ni à l'épaisseur du profil.

Sa porosité est fine et son pouvoir de rétention d'eau légèrement inférieur à celui de la terre rouge.

Sous l'effet de l'érosion ou d'un déboisement qui assèche le microclimat du sol, les concrétions tendent à se former dans l'horizon tacheté en donnant un horizon gravillonnaire tacheté.

Parfois même, dans des sols érodés jusqu'à l'horizon gravillonnaire, on peut observer, en dessous de ce dernier, un horizon tacheté de roche-mère pourrie, où s'individualisent déjà des gravillons à partir des grenats.

Inversement dans un sol non érodé l'horizon tacheté tend à s'approfondir avec l'altération en profondeur de l'embranchite.

Dans les conditions d'humidité et de température quasi constantes, où se produit cette altération, les silicates sont entièrement détruits et les différents éléments libérés.

Les bases sont entraînées par drainage profond.

Le fer est réduit et en partie entraîné, ainsi que le montre le rapport Fe_2O_3/Al_2O_3 qui est de :

0,4 à 0,6 pour les terres rouges des horizons supérieurs,

0,7 à 0,9 pour les horizons gravillonnaires et le haut des horizons tachetés (valeurs de 2 à 10 et plus pour les gravillons et les cuirasses isolés).

0,1 à 0,4 pour l'embranchite altérée en profondeur, en milieu suffisamment réducteur et lessivé.

L'alumine apparaît relativement stable.

Par contre, une partie de la silice est entraînée, mais, étant donné le pH rapidement acide de l'embranchite en voie d'altération, ce départ doit être limité et se situer aux tous premiers stades de l'altération.

La silice restante tendrait, d'après quelques auteurs, à se recombinaison avec l'alumine pour donner des kaolinites de néoformation.

L'horizon tacheté devient alors plus épais, les remontées capillaires s'y font plus difficilement et l'horizon gravillonnaire tend à descendre dans cet horizon.

Deux nappes d'eau doivent alors être considérées : d'une part, celle qui, dans la roche altérée, assure le drainage profond, et, détermine, pendant une courte période de la saison sèche, la formation de pisolithes dans l'horizon tacheté et d'autre part, au-dessus de cet horizon tacheté, une nappe temporaire de fin de saison des pluies qui, en s'évaporant, s'enfonçant ou se drainant latéralement, assure l'entretien en fer de l'horizon gravillonnaire.

La latéritisation.

Nous pensons utile de rappeler brièvement ici ce qui caractérise un sol latéritique et ce qui justifie sa dénomination nouvelle de sol ferrallitique.

Sous l'action d'un microclimat humide et chaud permanent, on a une décomposition complète des silicates dans la zone d'altération de la roche-mère avec libération de silice, d'alumine et de fer.

Les bases sont rapidement entraînées par un drainage profond ainsi qu'une partie de la silice libérée ; cette dernière d'autant plus facilement que la roche est plus basique.

La silice restante et l'alumine se recombinaient pour donner des kaolinites.

Dans les roches basiques, il a été mis en évidence la formation d'argiles intermédiaires comme les montmorillonites qui, avec le temps, se décomposent pour redonner, après départ de silice, des argiles du groupe de la kaolinite.

Le départ de la silice, en fait, doit être assez limité dans les horizons d'altération de roches aussi acides que l'embréchite de Yaoundé mais, par contre, il semble que cet élément puisse légèrement migrer des horizons supérieurs de terre rouge.

Témoignage direct de ce départ de la silice, on peut observer, dans les sables des sols ferrallitiques sur basalte ancien de l'ouest-Cameroun, des concrétions silico-ferrugineuses d'aspect gréseux et, en contrebas des hauteurs, au niveau des nappes permanentes, de véritables petites géodes de calcédoine.

Ce départ de silice dans les sols latéritiques se traduit, abstraction faite des quartz, par un rapport silice/alumine particulièrement faible.

Pour le Cameroun, les différents résultats que nous possédons nous permettent de dresser en première approximation le petit tableau suivant des valeurs de ce rapport silice/alumine :

TABLEAU DES RAPPORTS $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ AU CAMEROUN

Pluviométrie	Sols évolués		Sols jeunes sur basalte récent
	sur socle	sur basalte ancien	
De 1,25 m à 2 m	1,5 à 2	1 à 1,5	1,5 à 3
De 2,50 m à 4 m	0,8 à 1,5		1,4 à 2

Ce qui montre qu'à degré d'évolution égale, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est plus faible dans les sols issus de roches basiques que dans les sols issus de roches acides et que, pour une même roche, il croît avec la pluviométrie du lieu. Les sols jeunes, ce qui est normal, sont moins latéritisés que les vieux.

Pour les sols de Yaoundé, le rapport silice/alumine varie de 1,5 à 2, ce qui correspond aux sols sur socle du sud-Cameroun sous 1,25 m à 2 m de pluie.

L'accumulation relative de fer et d'alumine, qui résulte du départ de la silice, justifie la nouvelle dénomination de « ferrallitique » donnée à ces sols.

Le fer et l'alumine eux-mêmes ne sont pas stables et, ainsi que nous l'avons précédemment vu, peuvent migrer dans des conditions différentes pour donner des accumulations ferrugineuses, ferrallitiques ou bauxitiques. Dans les sols de Yaoundé, l'alumine apparaît relativement stable et le fer seul est responsable des accumulations.

Analyse chimique des sols rouges ferrallitiques.

Ces sols sont très peu organiques ; les trois profils étudiés Y1, Y2 et Y4 renferment moins de 0,5 % de matières organiques en dessous de 60 cm ; en surface, la valeur dépend de la végétation du lieu mais, même le profil Y1 qui est situé sous forêt, ne renferme que 2,6 % de matières organiques en-dessous de la litière végétale, épaisse seulement de quelques centimètres.

On a une rapide décomposition de la matière organique confirmée d'ailleurs par un rapport C/N très faible.

Les acides humiques dépassent rarement 0,5 ‰ en surface et ne sont pas dosables en profondeur.

Ces sols, en dehors de leur horizon humifère peu épais, sont chimiquement très pauvres, car ils peuvent renfermer moins d'un milli-équivalent de bases échangeables avec une capacité de fixation en bases échangeables (T) de 4 à 11 m. eq. pour 100 g, moyenne se situant vers 7. Ils ne sont donc saturés qu'à 10 ou 20 ‰ de leur capacité.

Toutes les bases échangeables (calcium, magnésium et potassium) sont déficientes ; par contre, ces sols possèdent une certaine réserve en bases totales, satisfaisante en calcium, mais habituellement déficiente en magnésium et très pauvre en potassium.

En surface, surtout sous forêt, mais seulement dans les premiers centimètres qui correspondent à l'horizon humifère, les bases échangeables peuvent atteindre plusieurs milli-équivalents et s'avérer de valeur très moyenne ; les bases totales, compte tenu de l'augmentation des bases échangeables, ne semblent guère varier.

Le phosphore assimilable complexé par les hydroxydes de fer n'est dosable que dans certains horizons de surface.

Le phosphore total est faible, et l'azote, en dehors des horizons de surface, très déficient.

L'échantillon Y 91 prélevé en surface (de 10 à 20 cm), à proximité de la Mission Protestante Américaine, est plus organique que les autres échantillons de terre rouge. Tout de suite un peu plus humifère, il apparaît chimiquement satisfaisant, mais, comme nous venons de l'écrire un peu plus haut, cette richesse plus grande des horizons de surface ne se traduit pas par une augmentation des réserves minérales ; seules les bases échangeables sont plus importantes qu'en profondeur. Le pH de cet échantillon est aussi moins acide : pH de 6,3.

Pour le pH, il semble exister une courbe caractéristique de ces sols si l'on en juge par les profils Y1, Y4 et deux autres profils non utilisés dans ce rapport.

Situé entre 5,5 et 6 en surface, le pH tend à diminuer vers 5 ou même en dessous dans l'horizon lessivé, puis il remonte vers 5,5, valeur à laquelle il se maintient jusqu'aux premiers centres de concrétionnement. Là, une légère remontée du pH précède une nouvelle dépression qui correspond au niveau de formation actuelle des concrétions ferrugineuses.

Redevenant à peu près linéaire et aux environs de 5,3 dans l'horizon tacheté, il varie ensuite dans un sens ou dans l'autre en atteignant l'horizon d'altération de l'embranchite.

Dans le profil Y₂, l'apport secondaire de terre rouge sur l'horizon gravillonnaire et le fait que ce profil ne corresponde pas à un trou mais à un ancien talus, font que la courbe des pH nous apparaît aplatie.

Quand on considère l'allure de la courbe du pH pour les sols de Yaoundé, il apparaît une sinuosité qui marque le niveau actuel du concrétionnement. Ceci souligne l'importance pédologique de ce niveau où, avons-nous écrit plus haut, les ferro-bactéries ont peut-être un rôle important ; nous n'avons pas à l'heure actuelle d'hypothèse à proposer pour expliquer cette sinuosité.

Nous noterons enfin le pH acide de l'embranchite en voie d'altération.

ÉROSION DU SOL ROUGE FERRALLITIQUE

Gravillons et cuirasses

Type n° VI et VII de la légende de la carte.

Echantillons analysés :

YC : cuirasse de la carrière d'embranchite du plateau Atemengué.

YG : gravillons patinés du plateau de l'Aviation.

(cf. Tableau IV).

TABLEAU IV

Y C = échantillon de cuirasse

Y G = échantillon de gravillons

Numéros des échantillons	Bases totales				P ₂ O ₅ Total ‰	Analyses totales								
	m. eq. pour 100 g					Quartz + ins. %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Bases totales ‰	Perte au feu ‰	Total	SiO ₂ Al ₂ O ₃
	Ca	Mg	K	Na										
Y C					3,39	42,8	3,7	3,3	35,6	0,36		10,4		1,91
Y G	9,4	2,7	<0,16	0,47	0,8	29,2	12,1	11,6	34,6	0,78	0,3	10,3	98,9	1,77

Mis à nu, le sol rouge ferrallitique est soumis à une érosion en nappe importante, qui peut se compléter localement d'érosion en ravines.

Les transports de terre sont très importants en saison des pluies, et il arrive que les horizons gravillonnaires soient dénudés et que des cuirasses se forment.

Nous pensons que ces dernières, à Yaoundé, ont deux origines principales :

D'une part, les cuirasses qui résultent d'une soudure des gravillons et peuvent, bien que ce soit assez rare, se former en profondeur car, du moment qu'on constate des horizons gravillonnaires en place dans les sols, on doit admettre que deux gravillons, qui se développent assez près l'un de l'autre, vont se souder en grossissant.

D'autre part, les cuirasses qui se forment par durcissement à l'air d'un horizon tacheté ou d'une horizon gravillonnaire tacheté. Ce durcissement est dû à la deshydratation des hydroxydes, d'où l'impossibilité pour ces cuirasses de se former en profondeur, étant donné le rôle de l'eau dans la formation de l'horizon tacheté. Ces cuirasses sont généralement des cuirasses de thalweg qui se trouvent secondairement entretenues et alimentées par les eaux de lessivage des plateaux sortant à leur niveau.

Ce processus de durcissement d'un horizon tacheté joue aussi à petite échelle, et, par exemple, entre le quartier Haouassa et la colline de Nkolnyada il est un marigot, asséché par suite du déboisement, qui présente de chaque côté de son lit une cuirasse consécutive au durcissement de l'ancien horizon d'argile bariolée qu'il avait jadis déterminé ; cette cuirasse, que l'érosion tend maintenant à mettre en relief, ne se poursuit pas à l'intérieur des rives du marigot (ce qui est normal).

Pour les cuirasses de thalweg, qui, sur la carte, dessinent autour des collines de longues bandes rouges, il est à noter que nous n'avons aucune colline complètement ceinturée par ce type de cuirasse, soit que l'érosion ait été trop rapide, ou, au contraire, n'ait localement pas joué.

Souvent, les gravillons exposés à l'air sont superficiellement recouverts d'une patine ferrugineuse plus ou moins importante ; la formation en est simple. En saison des pluies, les éléments s'imbibent d'eau, une partie du fer passe en solution et quand, en saison sèche, l'eau s'évapore, elle dépose une fine pellicule ferrugineuse sur le pourtour du gravillon, pellicule qui, d'année en année, devient plus importante. Cette patine des gravillons doit même pouvoir se faire dans la terre car la porosité des gravillons est très fine et la terre rouge est déjà sèche que le gravillon possède encore toute son eau ; quand cette dernière arrive au contact de la terre sèche, elle s'évapore en déposant son fer sur le gravillon. La patine dans ce cas n'est toutefois pas brillante comme l'est celle des gravillons soumis directement aux agents atmosphériques.

De même, les cuirasses de thalweg, qui se trouvent alimentées par les eaux de lessivage des plateaux et sont directement exposées à l'air, se recouvrent aussi d'une patine parfois épaisse de plusieurs millimètres.

Les cuirasses superposées, où la cuirasse inférieure est alimentée par les hydroxydes issus de la cuirasse supérieure, sont assez rares ; on peut cependant en voir un exemple sur la carte au nord de la colline de l'Aviation.

Chimiquement enfin, la plupart de ces accumulations sont essentiellement ferrugineuses, l'alumine n'y étant que très faiblement représentée. Le rapport Fe_2O_3/Al_2O_3 est de 10,7 pour la cuirasse YC et de 3 pour les gravillons YG.

Le rapport SiO_2/Al_2O_3 y varie, comme dans les sols, de 1,5 à 2 et une certaine réserve en bases totales (surtout calcium et magnésium) peut y exister. Cette réserve est d'autant plus importante que l'horizon tacheté, qui s'est cuirassé, pénètre dans la zone d'altération de la roche-mère.

Horizons tachetés mis à nu et remaniés

Type n° VIII de la légende de la carte.

Echantillons analysés :

Y 31 et Y 32 : horizon tacheté de la briqueterie militaire.

(cf. tableau V).

TABLEAU V
(Horizons tachetés)

Echantillons		Mesures physiques			Analyses mécaniques					Bases échangeables						
Numéros	Profondeur (en cm)	Couleur au code expolaire	Porosité p. 100 cm ³	Rét. eau p. 100 g	100				Gravier %	m. eq. pour 100 g						S/T
					Argile	Limon	Sable fin	Sable gross.		Ca	Mg	K	Na	S	T	
Y 31	350	du rouge au gris clair	39,6	35,6	44	12,5	28	15,5	8,5	< 0,2	< 0,5	0,05	< 0,08	< 1	6,2	0,16
Y 32	420	» + brun-jaune	33	30,1	38,5	10,5	32,5	18,5	0	< 0,2	< 0,5	0,17	0,10	< 1	7,4	< 0,13

Echantillons	Bases totales				P ₂ O ₅	Matières organiques					pH	Analyse totale									
	m. eq. pour 100 g					Total o/oo	N %	C %	M. O. %	C/N		Humus o/oo	Quartz + ins. %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Bases totales %	Perte au feu %	Total	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
	Ca	Mg	K	Na																	
Y 31	7	1	0,77	0,81	0,02	0,45	0,15	0,26	3,3	0	5,8	25,5	24,5	21,4	14,5	1,59	0,3	12,5	100,3	1,95	
Y 32	7	1	0,59	0,56	0,07	1,1	0,15	0,26	1,3	0	6	43,8	19,5	16,7	6,5	1,71	0,3	10,3	98,8	1,98	

Il se peut, mais cela est assez rare, que sur une hauteur (colline de Mvolyé) ou une pente (colline de Nkolnyada), on trouve, sur la roche dénudée, les vestiges d'un ancien horizon tacheté peu ou pas durci.

Un lessivage de cet horizon mis à nu est nécessaire pour en empêcher le durcissement, ce qui explique qu'on ne puisse le rencontrer que sur des hauteurs ou des pentes bien drainées.

Généralement d'ailleurs, les produits de cet horizon sont remaniés dans le sol jeune sous-jacent qui se forme, d'où une composition plus argileuse et une couleur plus claire, non pas brune mais ocre, du nouveau sol.

Ainsi que nous l'avons vu dans les profils des sols ferrallitiques, ces horizons tachetés sont aussi pauvres que les terres rouges en bases échangeables et leurs réserves minérales sont parfois même plus faibles.

L'horizon bariolé Y3 ici analysé est particulièrement pauvre, son rapport silice/alumine est proche de 2, mais il est situé au niveau d'une nappe phréatique permanente, qui forme un petit marais devant le profil étudié, situation qui correspond habituellement à un dépôt de la silice d'apport.

SOLS DE PENTE ET DE RECOUVREMENT

Les sols de pente sont certainement les plus difficiles à interpréter car, en plus de l'érosion et des apports colluviaux, ils sont soumis à un « lessivage latéral » et à un « apport interne », processus inverse du lessivage qui joue à l'intérieur même du sol, quand, comme à Mvolyé, un ancien horizon argileux domine un sol jeune.

Lessivage latéral et apport interne doivent d'ailleurs jouer simultanément ; le lessivage entraîne les bases et les hydroxydes, tandis que l'apport interne enrichit en colloïdes argileux les sols sous-jacents aux vieux horizons.

Principaux types de « chaînes de sols »*

Type n° X de la légende de la carte.

Nous pouvons ramener les sols de pente à quelques types principaux de « chaînes de sols » désignés sur la carte par les symboles employés ici.

« Chaîne de sols » du type M.

C'est celle que l'on rencontre sur les collines faiblement bombées, qui ont conservé leur relief suffisamment longtemps pour qu'un sol rouge évolué ait eu le temps de se former en suivant la topographie de la colline. L'horizon gravillonnaire, parfois cuirassé, n'apparaît alors qu'en certains points plus exposés à l'érosion.

Tel est le cas de la plupart des petits mamelons, qui séparent les marigots au sud-est de la ville comme ceux de Mvog-Ada et Mvog-Mbi. Tel est le cas aussi de la partie nord de la colline de l'Aviation.

« Chaîne de sols » du type CS.

Cette « chaîne de sol », qui est la plus courante, se présente ainsi :

Le sol rouge de la hauteur est limité en haut de pente par un horizon gravillonnaire ou une cuirasse de thalweg et la pente elle-même est ensuite recouverte par un sol rouge d'origine colluviale.

Dans sa partie supérieure, ce sol rouge est souvent rendu argileux et glissant par les argiles tachetées, sous-jacentes à la cuirasse.

Par contre, dans sa partie inférieure, il tend parfois à devenir plus foncé car il résulte alors du mélange intime d'un sol jeune avec les produits colluviaux et les apports internes issus des terres du dessus.

A l'approche du bas-fond, souvent (mais pas toujours) la nappe phréatique détermine dans le sol rouge un horizon tacheté ou bariolé qui, mis à nu, a pu déjà durcir. Un horizon gravillonnaire alimenté par le lessivage latéral a pu aussi se former au-dessus de cet horizon.

« Chaîne de sols » du type C².

Dans ce type de « chaîne de sols » le sol rouge du thalweg ne descend pas jusqu'au marigot mais passe progressivement à un sol brun avec affleurement de l'embréchite.

Une reprise d'érosion à la base d'une « chaîne de sols » de type C³ peut donner une « chaîne de sols » de type C².

« Chaîne de sols » du type C¹.

Si l'érosion continue, toute la terre rouge tend à disparaître en-dessous de la cuirasse de thalweg et le sol brun sur embréchite tend à remonter jusqu'à cette cuirasse. Il est alors généralement

* Equivalent français du concept anglais de « catena ».

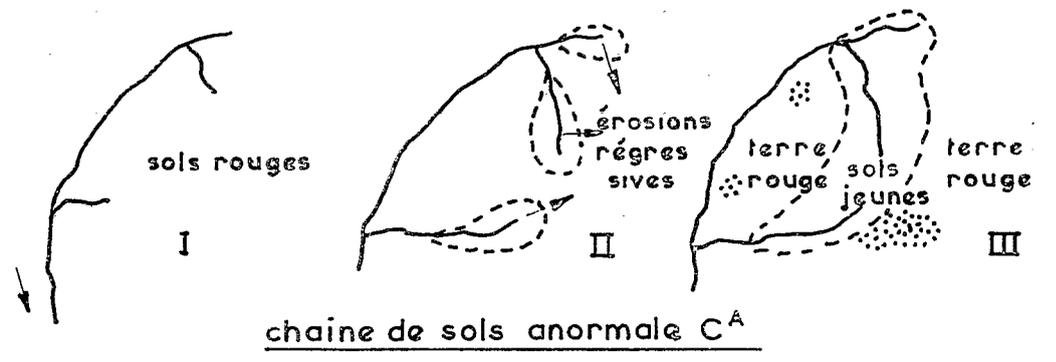
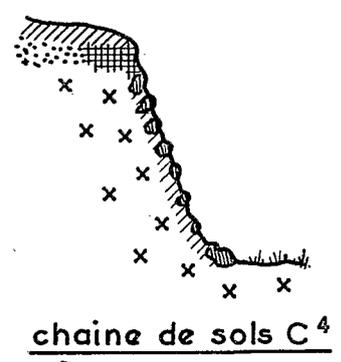
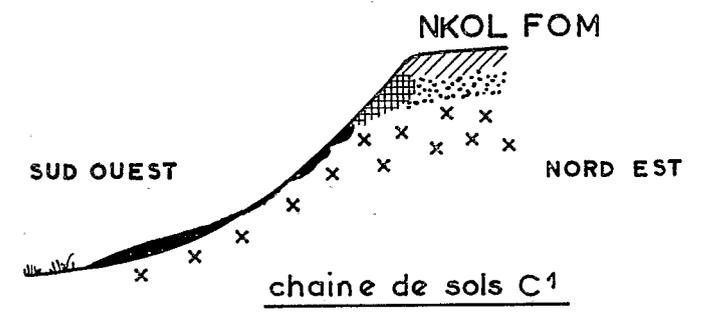
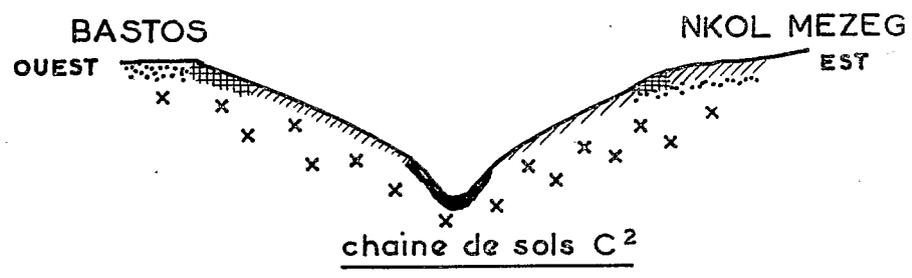
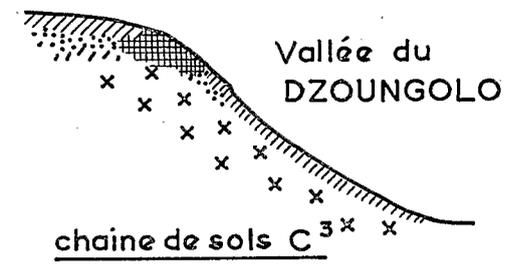
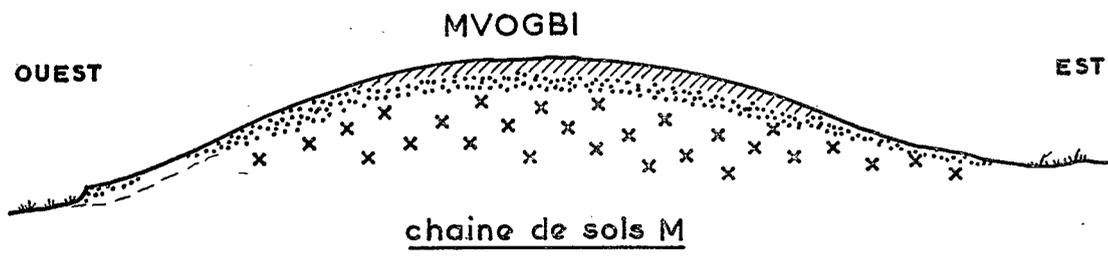


FIG. 7

enrichi vers le haut par des apports colluviaux et internes, alors que, vers le bas, il passe déjà à des sols bruns à brun-rouge plus évolués.

Ce type de « chaîne de sols » est bien représenté sur les pentes de la colline du Bureau Minier ou colline de Nkol-Fom.

« Chaîne de sols » du type C⁴.

Enfin, si la cuirasse de thalweg est très importante et la pente forte, le matériel colluvial, formé par la terre rouge et les débris de cuirasse, peut recouvrir toute la pente, tel est le cas à l'est du plateau Atemengué.

« Chaîne de sols » anormale dite de type CA.

Sur la pente nord-ouest du plateau Atemengué, l'ordre de la « chaîne de sols » semble inversé puisque, du haut du plateau, on passe directement d'un sol rouge faiblement gravillonnaire à un sol brun sur embréchite affleurante, puis de nouveau, mais progressivement, à un sol rouge recouvert localement de gravillons transportés.

Nous supposons que cette succession anormale de sols est due au recul convergent de deux bras du marigot Olezoa qui, au milieu des sols rouges de pente, a déterminé la formation de sols plus jeunes (cf. schéma).

SOLS DE RECOUVREMENT

Type n° IX de la légende de la carte.

Echantillon analysé :

Y 101 : terre brune de surface prélevée en contrebas de la colline de Mvolyé.

(cf. tableau II).

Au sud de la colline de Mvolyé, on observe un important recouvrement d'un sol rouge évolué par la terre brune d'un sol jeune sus-jacent.

La terre brune entraînée par l'érosion a pu pénétrer sous forme d'apport colloïdal dans l'épaisseur du sol mais, en fait, elle a surtout recouvert le sol rouge et la limite du recouvrement est encore bien visible en de nombreux points.

Chimiquement, l'échantillon analysé 101 se place entre un sol brun peu évolué et un sol brun à brun-rouge déjà évolué et assez profond, ainsi que le montrent les résultats analytiques du tableau II.

Cet échantillon possède 3,4 m. eq. pour 100 g de bases échangeables, avec un degré de saturation (S/T) de 0,3.

Sa réserve minérale est bien pourvue en magnésium et potassium, mais apparaît pauvre en calcium comparée aux terres rouges.

Phosphore, azote et matières organiques sont de valeur satisfaisante.

Le pH est de 6,5, donc peu acide.

SOLS HYDROMORPHES DES BAS-FONDS

Sols brun-jaune de bas-fonds exondés ou de bordure de bas-fonds

Type n° XI de la légende de la carte.

Echantillons analysés ;

Y 41 : talus de terre dominant une source.

Y 61 : (0,20 cm) grande tache de sol brun-jaune, située au nord du bâtiment du Service Géographique. (cf. tableau VII).

TABLEAU VI
RÉSULTATS ANALYTIQUES CONCERNANT LES SOLS HYDROMORPHES DES BAS-FONDS

Echantillons	Mesures physiques				Analyses mécaniques					Bases échangeables									
	Numéros	Profondeur (en cm.)	Couleur au code expolaire	Porosité p. 100 cm ³	Rét. eau p. 100 g	100				Gravier %	m. eq. pour 100 g						S/T	Mg/Ca	Na/Ca
						Argile	Limon	Sable fin	Sable gross.		Ca	Mg	K	Na	S	T			
Y 41	0-20	jaune-brun D 66 taches gris clair	39,2	33,1	50,5	5	23	21,5	0,9	0,70	0,60	0,10	0,08	1,48	6,25	0,24	0,86	0,11	
Y 61	0-20		47,8	41,1	62,5	11,5	20	6	0,2	0,52	<0,5	0,20	<0,1	1	7,4	0,13	1,02	0,15	
Y R ³																			
Y 21		blanc à taches jaunes et noires	43,7	38,1	18	17	33	32	4	4,65	4,79	0,28	0,09	9,8	11	0,89	1,03	0,02	
Y 81		gris très clair à blanc B 90 à A 90	27,9	25,3	25,5	9,5	45,5	19,5	0	0,18	<0,5	<0,05	<0,08	<1	43	<0,23	<2,9	<0,44	
Y 111	0-20	jaune pâle A 61 à blanc A 81	44	46,3	40	29	21	10	négl.	0,19	1,33	0,08	0,13	1,73			7,0	0,68	
112	200	blanc A 81	46,2	51,2	13,5	42,5	41,5	2,5	0,1	0,52	1,26	0,33	0,21	2,32	10,6	0,22	2,4	0,40	
113		blanc A 81	52,8	44,4	19	16	56	9	négl.	0,70	2,06	0,33	0,21	3,30	10,7	0,31	2,9	0,30	

Echantillons	Bases totales				P ₂ O ₅ totales %	Matières organiques					pH	Analyse totale									
	m. eq. pour 100 g					N %	C %	M. O. %	C/N	Humus %		Quartz + ins. %	Si O ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Ti O ₂ %	Bases totales %	Perte au feu %	Total	Si O ₂ / Al ₂ O ₃	
	Ca	Mg	K	Na																	
Y 41.....	9,6	1	1,11	0,56	0,32	0,64	0,41	0,70	6,4	tr.	5,7	50,5	15,5	16,7	4,9	0,96	0,4	10	99	1,58	
Y 61.....	7,7	4,3	1,06	0,92	0,60	0,78	0,46	0,79	5,9	0	5,5	29	22	26,5	6,3	1	0,4	13,2	98,4	1,41	
Y R ³	18,9	48,2	10,0	1,27	0,37							82,9	6,7	4,8	1,7	0,3	2,0	2,6	101	2,4	
Y 21.....	6	63	20,4	0,89	1,26	0,34	0,06	0,1	1,7	non décel.	7,2	32,2	26,2	21	7,8	1,2	2,4	10,4	101,2	2,13	
Y 81.....	7,6	4,3	0,31	0,52	0,12	0,29	0,45	0,77	15	tr.		68,5	12	10,8	1,3	1,2	0,3	5,5	99,6	1,89	
Y 111.....												32,5	26,0	26,3	2,1	1,47		10,4		1,68	
112.....			4,17	0,96	0,07	0,42	0,21	0,36	5		5,1	26,5	29,6	27,4	2,3	1,03		13,8		1,84	
113.....	6,4	73,1	16,4	3,75	2,05	0,39	0,15	0,26	3,8		5,5	30	26,1	20,3	6,3	1,72	2,5	11,2	98,1	2,18	

En milieu à microclimat constamment humide, les sols ferrallitiques passent du rouge au brun-jaune, ce changement de couleur étant dû à une modification minéralogique, non encore précisée, des hydroxydes de fer.

On retrouve ce changement à l'échelle régionale, les sols ferrallitiques jaunes se situant en majorité au Cameroun plus au sud que les sols ferrallitiques rouges, c'est-à-dire sous une pluviométrie plus forte.

De plus, ces couleurs, une fois déterminées, sont relativement stables et un changement de climat ne semble pouvoir les affecter qu'après de nombreuses années.

Chimiquement, les sols ferrallitiques jaunes sont identiques aux sols ferrallitiques rouges, si ce n'est que, plus lessivés, ils paraissent être moins riches en bases avec un rapport SiO₂/Al₂O₃ plus faible.

Ici, les deux échantillons analysés correspondent à des horizons de surface de sols de dépression ou de pente ; ils pourraient donc, de par leur situation, posséder une certaine richesse chimique ; néanmoins ils s'avèrent aussi pauvres sinon plus que les horizons de surface des sols rouges et leur réserve minérale en calcium et magnésium apparaît plus faible.

Phosphore total, azote et matières organiques y sont déficients.

Le pH est acide (5,7 et 5,5) et le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ légèrement inférieur à celui des horizons supérieurs dans les sols rouges.

Sols jaune-brun de bas-fonds

Type n° XII de la légende.

Quand du matériel alluvial ou colluvial est venu depuis assez longtemps combler un bas-fond, désormais seulement inondé pendant les saisons des pluies, on a encore un sol à tonalité jaune (haute vallée de l'Olezoa par exemple).

En profondeur, au-dessus de la nappe phréatique, il se forme habituellement un horizon tacheté et même bariolé, souvent surmonté de concrétions ferrugineuses de couleur ocre.

Sols rouges de bas-fonds sur matériel colluvial

Type n° XIII de la légende.

Ce type de sol de bas-fonds est en général dû à l'homme qui a progressivement comblé le bas-fond avec la terre rouge des sols avoisinants.

Bien que certains comblements soient déjà très anciens, la couleur est encore restée bien rouge.

Sol type de bas-fonds ; altération de l'embranchite dans l'eau

Type n° XIV de la légende.

Echantillons analysés :

YR³, Y 21 et Y 81 : échantillons d'embranchite pourrie dans l'eau.
(cf. tableau VI).

Morphologiquement très caractéristique, ce sol se présente ainsi :

Horizon de terre noire organique épais de 20 à 50 cm.

Horizon blanc, sablo-argileux à argileux, structure fondue, épaisseur de 20 à 30 cm. Cet horizon provient de l'altération de l'embranchite dans l'eau.

Embranchite altérée dans la masse que sur une très petite épaisseur.

L'embranchite dans l'eau, dès qu'elle est un peu altérée, se kaolinise aussitôt ; le départ des différents éléments susceptibles de migrer dépend de l'importance du drainage.

Soit les trois échantillons analysés :

YR³ : embranchite peu altérée, faible drainage.

Y 21 : embranchite altérée, faible drainage.

Y 81 : embranchite très altérée, horizon blanc, sablo-argileux de bordure de marigot, bon drainage.

Avec l'accroissement de l'altération et du drainage, on a une baisse régulière des bases échangeables, un départ plus accentué de la silice et du fer, et une diminution des réserves minérales, rapide pour le calcium, mais plus lente pour le magnésium.

Echantillons	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /Al ₂ O ₃	Bases échangeables	Mg total
			en m. eq. pour 100 g	
YR ^s	2,4	0,35		48,2
Y 21	2,13	0,37	9,8	63
Y 81	1,89	0,12	1	4,3

Le pH est parfois neutre ou même légèrement basique (pH de 7,2 en Y 21).

Accumulations sableuses

Type n° XV de la légende de la carte.

Il arrive que, très lessivé, l'horizon blanc, sablo-argileux donne un sable blanc très pur, d'ailleurs largement exploité.

Des accumulations locales en existent :

au nord de la carte : dans la vallée du Tangola et certains bas-fonds au sud de Nkolmezeg.

au centre de la carte : dans la vallée de l'Eboga et la vallée du Mongo.

au sud de la carte : en certains points de la vallée de l'Ake.

Accumulations dites kaoliniques

Type n° XVI de la légende de la carte.

Profil Y 11 de la briqueterie des Travaux Publics, échantillons Y 111, 112 et 113 analysés. (cf. tableau VI).

Inversement dans certains bas-fonds mal drainés, on peut rencontrer une accumulation dite kaolinique, qui correspond à un horizon blanc très épais, soit qu'il y ait eu formation d'un horizon à gley profond, soit que l'embranchite se soit profondément altérée sans que l'érosion ait joué.

L'exemple le plus remarquable de ce genre d'accumulation se rencontre à l'ancienne briqueterie des Travaux Publics, à l'est du plateau de l'Aviation.

Le profil Y 11 creusé dans le bas-fond se présente, sur plus de 2 m, comme un grand horizon de gley de couleur blanche à texture plastique et structure fondue.

L'eau est presque en surface et l'horizon exondé n'est épais que d'une vingtaine de centimètres. Il apparaît de couleur jaune pâle par suite d'une oxydation superficielle du fer.

Dans le profil, ce dernier est entièrement réduit et donne une légère tonalité bleu-vert à l'argile blanche ; celle-ci, exposée à l'air, se recouvre superficiellement d'une mince pellicule jaune pâle.

Des taches violettes, correspondant à d'anciens débris végétaux, sont aussi visibles dans le profil : exposées à l'air, elles deviennent vert clair puis jaune pâle.

Si on admet le profil Y 11 formé en place, nous voyons (cf. tableau VI) que de l'embranchite altérée à la surface nous avons une altération progressive des éléments soulignée par les flèches noires.

L'échantillon Y 113 situé à 2 m est riche en sables fins, l'échantillon Y 112 situé à 1 m est riche en limons et l'échantillon Y 111 situé en surface est riche en argile.

Par contre, les bases échangeables, de 3,3 m. eq. pour 100 g en Y 113, passent à 2,3 en Y 112 et 1,7 en Y 111, ce qui indique un léger lessivage des colloïdes parallèlement à leur genèse.

Une diminution régulière du rapport SiO₂/Al₂O₃ se manifeste aussi : 2,48 en Y 113, 1,84 en Y 112 et 1,68 en Y 111.

Dans les bases échangeables, le rapport Mg/Ca reste élevé et nous retrouvons cette importance du magnésium dans les réserves minérales. Cet élément, dans les sols hydromorphes, comme dans les embréchites altérées en profondeur, semble disparaître bien plus lentement que le calcium.

Le phosphore total n'est abondant qu'en profondeur, l'azote est très faible, les matières organiques variables, mais généralement peu importantes à l'intérieur du profil, et le pH enfin, nettement acide : pH de 5 à 5,5.

C'est sur ces différents sols de bas-fonds, que les indigènes établissent de préférence leurs potagers de légumes d'origine européenne (carotte, radis, épinard, salade, cresson...).

Quant aux accumulations dites kaoliniques, elles peuvent servir, après mélange avec la terre rouge et argileuse des sols ferrallitiques, à faire des briques de basse qualité.

CONCLUSION

Les sols ferrallitiques des régions tropicales sont des sols, qui se forment rapidement et où les premiers stades de la pédogénèse sont d'autant plus difficiles à observer que les phénomènes d'érosion et de transport jouent un rôle très important et trop souvent minimisé.

Ces sols s'approfondissent rapidement et prennent un profil morphologiquement typique, où cependant les horizons gravillonnaires et bariolés ne doivent pas être jugés comme caractéristiques, car ils ne dépendent qu'indirectement des processus physico-chimiques qui déterminent la ferrallitisation.

Ces sols sont incontestablement des sols chimiquement pauvres. Néanmoins, sous forêt, ils supportent très bien les principales cultures tropicales (caféiers, cacaoyers *, bananiers, palmiers) ainsi que les cultures vivrières courantes (manioc, taros, ignames).

Ceci est dû, d'une part à la richesse chimique de l'horizon superficiel qui se trouve entretenue par la décomposition rapide d'une litière végétale toujours renouvelée et, d'autre part, à une structure physique à pseudo-agrégats ferrugineux qui assure avec l'ombrage et le micro-climat des conditions d'humidité satisfaisantes.

Il en résulte que la déforestation fait courir un grave danger à ces sols car, une fois le couvert végétal supprimé, l'équilibre du sol est rompu.

Avec l'arrêt des apports végétaux, on a une chute rapide de la matière organique et des bases échangeables dans les horizons supérieurs, une modification de la structure et surtout une érosion d'autant plus intense que généralement le relief est tourmenté et les pluies brutales. Les horizons sous-jacents chimiquement beaucoup plus pauvres apparaissent rapidement, les horizons gravillonnaires viennent ensuite, puis des cuirassements locaux s'amorcent et nous passons alors aux sols de savane dont la dynamique physique, chimique et biologique est tout différente (bibliographie-2).

NOTE COMPLÉMENTAIRE

Depuis le dépôt de cette étude, j'ai eu l'honneur de présenter, devant la Société de Géochimie, un exposé sur la genèse des sols ferrallitiques profonds et j'ai pensé que les conclusions de cet exposé pouvaient utilement compléter ce texte.

« On peut principalement objecter à cette théorie, qui voit la genèse des profils ferrallitiques profonds dans une différenciation secondaire d'accumulations locales de matériaux ferrallitiques déjà évolués, que les sols ferrallitiques correspondent à la zone forestière et que précisément cette forêt empêche l'érosion en masse des sols. Comme l'a soutenu le Professeur ERHART dans sa théorie biorhexistatique, la forêt forme le filtre, qui permet la séparation entre la phase migratrice soluble et les minéraux résiduels de la pédogénèse.

* Cf. Observations sur quelques caractères des sols de cacaoyères en Côte d'Ivoire par G. AUBERT et H. MOULINIER. *L'Agronomie tropicale*, vol. IX, n° 4, 1954.

« Si la roche-mère a donné des sols suffisamment riches, profonds, meubles, perméables, pour que le pivot du cacaoyer puisse se développer en profondeur jusqu'à 1,50-2 m., le sol formé convient au cacaoyer. Si, au contraire, il contient des gravillons, des graviers, des cailloux, s'il est peu profond, pauvre, cet arbre s'y développe mal. La profondeur du sol peut être inférieure si le sol est riche et retient bien l'eau. Les facultés d'adaptation du cacaoyer dépendent des conditions du sol et du climat, les qualités du premier pouvant en partie pallier les défauts du second et réciproquement. Le pH des sols à cacaoyers ne doit pas être trop inférieur à 6. »

« En fait, il existe sous la forêt des glissements de terrain très lents, mais d'assez grande amplitude, comme le prouve dans les sols la présence de lits de cailloux issus de filons de quartz incurvés et laminés.

« Mais ces glissements de terrain ne peuvent suffire à expliquer les accumulations importantes nécessaires à la genèse de la plupart des sols ferrallitiques profonds et nous supposons que la présence de tels sols doit, en fait, toujours être liée à d'anciennes périodes rhéxistasiques de plus ou moins grande étendue.

« Dès que la forêt vient à disparaître ou même simplement à s'éclaircir, l'érosion se manifeste intensément.

« F. FOURNIER, dans sa thèse, l'estime pour le sud-Cameroun et sur sol nu à plus de 4.000 tonnes km²/an.

« Par suite de cette érosion intense, les sols ferrallitiques profonds devraient principalement se former dans les régions de forêt secondaire à couvert réduit, ce qui est précisément le cas dans la région de Yaoundé.

« Au nord de la forêt, en effet, le passage à la savane est étroitement délimité par les feux de brousse et, dès qu'on passe en savane, l'érosion agit pleinement sur les sols dénudés. Les horizons supérieurs des sols ferrallitiques sont rapidement entraînés et les horizons d'accumulation des hydroxydes, mis à nu, se cuirassent aussitôt.

« Les produits de cette érosion intense ne peuvent, pour le Cameroun, en zone de savane, et de par la topographie, que s'accumuler dans de rares dépressions engorgées où se différencient des sols hydromorphes.

« A l'opposé, sous forêt dense, de grandes surfaces de sols ferrallitiques profonds ne nous paraissent pouvoir résulter que d'anciennes périodes rhéxistasiques, soit locales, soit éloignées, s'il s'agit, par exemple, d'anciens apports alluviaux issus de zones d'érosion (tel le passage de la forêt à la savane).

« Etant donné ces conclusions auxquelles nous sommes arrivé, il nous paraît intéressant de toujours rechercher dans les sols ferrallitiques profonds sous forêt la présence possible de matériaux d'apport et, si possible, l'origine probable de ces matériaux.

« L'évolution *in situ* d'un jeune sol ferrallitique en sol ferrallitique profond nous paraît sinon impossible, tout au moins très fortement improbable ».

RÉSUMÉ. — *Les sols de la région de Yaoundé (sud-Cameroun) sont pris comme exemple de sols latéritiques ou mieux ferrallitiques.*

De la roche-mère qui s'altère au sol bien développé qui correspond au pédoclimax, l'auteur analyse les différents stades intermédiaires ; de même entre ce sol développé et la roche-mère, éventuellement remise à nue par l'érosion.

Sont ensuite décrits les différents types de sols qui, en liaison avec les sols ferrallitiques, recouvrent les pentes (chaînes de sols) où occupent les bas-fonds (sols hydromorphes).

Tout en rappelant en quoi consiste le processus pédologique de la latéritisation, l'auteur s'efforce, dans cette étude, d'expliquer la différenciation en horizons des profils ferrallitiques. Pour lui, la différenciation des horizons gravillonnaires et bariolés n'est pas caractéristique du degré d'évolution de ces sols.

Ceux-ci s'avèrent chimiquement pauvres, mais peuvent cependant supporter de riches cultures, tant qu'un couvert forestier suffisant les protège de l'érosion.

SUMMARY. *The soils of the Yaoundé region (in South Cameroons) are taken as examples of lateritic or rather ironlitic.*

From the weathering parent-rock to the fully developed soil corresponding to the pedoclimax, the author analyses the different intermediary stages ; and the other way round, from this fully developed soil to the parent-rock eventually exposed by erosion.

Different types of soil are then described : connected with ironlitic soils they cover slopes (catenas) or occupy the low-grounds (hydromorphic soils).

While recalling what exactly the pedological process of lateritisation is, the author tries, in this study, to explain the differentiation of horizons in ironlitic profiles. According to him, the differentiation of gravel and variegated horizons is not a characteristic of the degree of evolution of these soils.

They are found to be chemically poor but they can nevertheless be planted with rich crops, so long as a forest-shade protects them from erosion.

RESUMEN. *Los suelos de la región de Yaundé (sur de Camerún) son ejemplos de suelos lateríticos o, para mejor decir, feralíticos.*

Desde la roca madre que sufre alteración hasta el suelo formado que corresponde al pedoclimax, el autor analiza las diferentes fases intermediarias ; el autor parte también de este suelo ya formado para regresar a la roca madre, eventualmente desnudada por la erosión.

Después describe los diferentes tipos de suelos que, asociados con los suelos feralíticos, cubren las laderas (catena de suelos) u ocupan las hondonadas (suelos hidrómorfos).

El autor explica el proceso pedológico de la lateritización y trata de mostrar la diferenciación en horizontes de los perfiles feralíticos. Según él, la diferenciación de los horizontes constituidos de grava y con vetas y manchas no caracteriza el grado de evolución de dichos suelos.

Estos son químicamente pobres. Sin embargo pueden llevar cultivos ricos cuando la selva impide la erosión.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.). — Les sols latéritiques. C. R. Congr. Int. Science du Sol, Léopoldville, 1954, vol. 1, p. 103-118.
- BACHELIER (G.), CURIS (M.), MARTIN (D.). — Les sols de savane du Sud-Cameroun. *Bul. Inst. Et. Centrafricaines*, nouv. série, Brazzaville, 1957, n° 13-14, p. 7-27.
- BETREMIEUX (R.). — Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. *Ann. Agro.*, 1951, n° 3, p. 193-295.
- D'HOORE (J.). — L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux. Publ. INEAC, 1954, Série scientifique, n° 62.
- ERHART (H.). — La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Paris, Edit. Masson, 1956.
- FOURNIER (F.). — L'érosion du sol dans les territoires français d'Outre-Mer. Commun. 11^e Assemblée G¹e Union Géodésique et Géophysique Internationale, ORSTOM, 1957.
- FRIPIAT (J.), GASTUCHE (M. C.). — Etude physico-chimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de fer trivalent. Publ. INEAC, Série Scientifique, 1952, n° 54.
- HENIN (S.). — Cours de physique des sols professé à l'ORSTOM, Paris.
- KELLOGG (C. E.). — Tropical soils. Trans. IVth Congr. Soil Science, Amsterdam, 1950, 1, p. 266-76.
- MAIGNIEN (R.). — Différents processus de cuirassement en A. O. F. C. R. II^e Conf. Interfr. des Sols, Léopoldville, 1954.
- MOHR (E. C. J.). — The soils of equatorial regions with particular reference to the Netherlands East Indies. Ann. Arbor, Michigan, 1954.
- MOHR (E. C. J.), VAN BAREN. — Tropical soils. Interscience publishers, London, New-York.
- PRESCOTT (J. A.), PENDLETON (R. L.). — Laterite and lateritic soils. Commonw. Bur. Soil Sc. Techn. Communication, 1952, 47.
- WAEGEMANS (G.). — Introduction à l'étude de la latéritisation et des latérites du Centre Africain. *Bull. Agri. Congo Belge*, 1951, XLII, 1, p. 13-56.
- WAEGEMANS (G.). — Signification pédologique de la « Stone Line ». *Bull. Agri. Congo Belge*, 1953, XLIV, 3, p. 521-532.

ANNEXE

EXPRESSION DES RÉSULTATS

Tous les résultats, sauf le gravier se rapportent à une terre, tamisée au tamis de 2 millimètres et séchée à 105°.

Analyses mécaniques.

A	= Argile	inférieur	à 0,002 mm	} en % de la terre tamisée.
L	= Limon	de 0,002 mm	à 0,02 mm	
Sf.	= Sable fin	de 0,02	à 0,2 mm	
Sgr.	= Sable grossier	de 0,2	à 2 mm	
Gr.	= Gravier	de 2	à 20 mm	en % de la terre totale.

Eléments échangeables (c'est-à-dire les cations fixés sur les micelles argilo-humiques et susceptibles d'être « échangés » contre d'autres cations).

CaO, MgO, K₂O, Na₂O en milliéquivalents pour 100 g de terre (m. eq. pour 100 g).

S = Bases échangeables totales en milliéquivalents pour 100 g de terre.

Pour mémoire :

1 m. eq. CaO = 0,028 g

1 m. eq. MgO = 0,020 g

1 m. eq. K₂O = 0,047 g

1 m. eq. Na₂O = 0,031 g

T = Capacité de saturation en bases échangeables en m. eq. pour 100 g de terre.

Rapport S/T = degré de saturation du sol en bases échangeables.

Eléments assimilables.

P₂O₅ en p. p. m. (parties par millions).

Eléments totaux.

Quartz + insolubles, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂ en %.

CaO, MgO, K₂O, Na₂O en milliéquivalents pour 100 g de terre.

P₂O₅ en ‰.

Réserves minérales =

Bases totales — bases échangeables.

Azote et matière organique :

N = Azote total en ‰.

C = Carbone en %.

Rapport C/N indiquant la qualité de la matière organique.

M. O. = Matières organiques en %.

Humus en ‰.

pH.

Mg/Ca et Na/Ca = rapports calculés à partir des bases échangeables converties en milliéquivalents.

MÉTHODES D'ANALYSE EMPLOYÉES

Analyses mécaniques réalisées par dispersion au pyrophosphate de sodium et prélèvements à la pipette Robinson.

Eléments échangeables, extraits par lessivage à l'acétate d'ammonium neutre N.

CaO, MgO, K₂O et Na₂O dosés par spectrographie de flamme à Bondy (France).

S calculé à partir des bases échangeables converties en milliéquivalents.

T obtenu par lessivage à l'acétate d'ammonium N, rinçage à l'alcool, déplacement au ClNa et dosage de l'azote par le procédé Kjeldahl.

Eléments assimilables.

P_2O_5 dosé par la méthode Truog.

Eléments totaux.

SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 et TiO_2 , dosés après attaque aux trois acides. CaO , MgO , K_2O , et Na_2O mis en solution par attaque à chaud à l'acide nitrique, et dosés par spectrographie de flamme au laboratoire de l'I R Cam à Yaoundé (Cameroun).

Azote et matières organiques.

Carbone obtenu par attaque au bichromate en milieu sulfurique et dosage au sel de Mohr en présence de diphényl-amine.

Azote obtenu par la méthode Kjeldahl, catalyseur de Pregl.

Matières organiques (M. O.) $M. O. \% = C \% \times 1,724$.

Humus par méthode Chaminade : extraction à l'oxalate d'ammonium 3% et dosage manganométrique.

pH relevé au potentiomètre.

REMERCIEMENTS

Exception faite des bases échangeables dosées à Paris, toutes les analyses ont été effectuées au laboratoire de l'I R Cam sous la direction de M. J. SUSINI, chimiste, que je tiens à remercier ici pour l'aide précieuse qu'il a bien voulu m'apporter.



Cameroun

L'AGRONOMIE TROPICALE

Extrait du n° 3
Mai-Juin 1959

ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DES SOLS DE YAOUNDÉ

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA PÉDOGÉNÈSE DES SOLS FERRALLITIQUES

par

G. BACHELIER

Maître de Recherches à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

E-AOUT 1985

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 18029 85

Cote : Bee1

