

LE PASSAGE DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX AUX SOLS FERRALLITIQUES DANS LES REGIONS SUD-OUEST DU SENEGAL

(République du Sénégal)

R. MAIGNIEN

Docteur ès Sciences

Directeur de Recherches à l'ORSTOM

PLAN

I — MILIEU GEOGRAPHIQUE	114
1 — Situation	114
2 — Le climat	114
3 — Roches — Modelé — Hydrographie	120
4 — Végétation	123
5 — Utilisation des sols	124
II — LES SOLS BEIGES ET LES SOLS ROUGES	124
1 — Les sols beiges	124
2 — Les sols rouges	146
III — DISCUSSION ET CRITIQUE DES RESULTATS	152
1 — Morphologie	152
2 — Caractéristiques analytiques	153
IV — DEFINITIONS ET CLASSIFICATION	160
CONCLUSIONS	168
BIBLIOGRAPHIE	169

INTRODUCTION

Au Sénégal, l'étude des sols qui bordent les axes routiers qui mènent au Niombato, en Moyenne et en Basse Casamance, montre un passage brutal entre des sols de couleur beige qui se développent vers le Nord et l'Est et des sols de couleur rouge qui se multiplient au Sud. Les contacts sont tranchés et les limites faciles à préciser sur le terrain (couleur des termitières).

Aucun changement notable n'est à signaler sur la nature des formations géologiques sousjacentes et sur les matériaux originels. Ce sont des grès plus ou moins argileux, partiellement remaniés en surface. Peu de différences également dans le modelé ; c'est un modelé subhorizontal de bas plateaux, où l'écoulement des eaux se trouve difficilement des exutoires. La végétation présente peu de variété ; c'est le domaine de la savane

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

Collection de Référence

n° 1114ex1

10.10.1957

arborée et de la forêt xérophile avec passages progressifs à des faciès plus humides. L'économie agricole est axée sur des cultures annuelles, arachide et mils et l'on observe des différences notables dans l'évolution des sols lors de leur utilisation. Mais, en résumé, la discontinuité la plus apparente, reste ce passage brutal entre sols beiges et sols rouges.

Sous ces différences pédologiques se cache un problème très important qui est celui de la limite entre les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques. Ce problème domine la pédologie **tropicale**. Il est intéressant d'aborder cette étude en région sénégalaise car les facteurs du milieu y sont peu tranchés. Cette approche amènera à préciser la définition des groupes de sols et par suite à les situer dans une classification générale.

Le plan adopté est le suivant :

1. Etude du milieu géographique.
2. Les sols — Morphologie et données analytiques.
3. Discussion et critique des résultats.
4. Essai d'interprétation — Définition et classification.

I. — MILIEU GEOGRAPHIQUE

1. — Exposé de situation — Limites

Le passage des sols beiges aux sols rouges intéresse, au nord de la Gambie Britannique, le Niombato et le Laghem oriental; au sud de la Gambie, la Moyenne et la Basse Casamance. Les sols beiges se développent au nord et à l'est; les sols rouges au sud et à l'ouest. La limite entre ces sols suit approximativement le tracé suivant : du NW au SE = Sokone — Keur Madiabel — Keur Mattar — Nioro du Rip où une langue étroite s'enfonce vers le nord au delà de Darou — Farafenni — Massembe — Koulikan — Sedhiou où se détache une bande vers les terrains de la CGOT (U C III) — sud Kolda — Mampatin — Mouri Kounda — puis vers le SE une fenêtre en Guinée Portugaise. Au nord de N'Dofane s'isolent quelques taches de sols rouges qui s'égrainent jusqu'aux environs de Kaolack, à Kahone.

Les coordonnées géographiques extrêmes sont les suivantes :

$$\begin{array}{l} 14^{\circ} \quad \text{N} - 15^{\circ} 30' \text{ W} \\ 12^{\circ} 50' \text{ N} - 14^{\circ} \quad \text{W} \end{array}$$

Les sols rouges se distribuent donc en bordure de la côte Atlantique et vers la Guinée Portugaise.

2. — Climat

Les régions considérées se situent à la limite des bioclimats Sahélo-Sénégalais et Guinéen Basse Casamance qui peuvent être considérés comme des sous-climats maritime du climat sahélo-soudanais (AUBREVILLE,

Caractéristiques climatiques de différentes stations

STATION : KAOLACK — Latitude : 14°08 N — Longitude : 16°04 W —
Altitude : 6 m. au nord de la limite

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température													
Minimale moyenne, °C .	15,6	16,8	18,0	19,6	21,4	23,6	23,8	23,2	23,2	23,1	20,4	16,9	20,5
Maximale moyenne, °C .	33,9	34,9	38,7	39,7	38,4	35,7	32,5	31,2	32,5	34,3	35,7	33,1	35,1
Moyenne, °C .	24,8	25,9	28,4	29,7	29,9	29,7	28,2	27,2	27,9	28,7	28,1	25,0	27,8
Tension de vapeur													
Moyenne, mb. .	9,7	10,0	10,7	12,8	18,3	24,4	27,1	28,6	29,1	26,8	20,1	12,4	19,2
Humidité relative													
Minimale moyenne, % .	36	17	12	13	22	39	55	64	60	48	30	22	35
Maximale moyenne, % .	61	63	66	68	81	87	92	96	97	95	88	67	80
Nébulosité													
Moyenne, octas .	3,3	2,5	2,1	2,0	3,1	4,5	5,7	6,3	5,7	4,6	3,7	4,3	4,0
Précipitations													
Hauteur moyenne, mm .	0	1	0	0	9	64	181	368	227	91	7	2	950
Vent													
Direction résultante .	NE	NNE	NNE	N	NW	W	W	WSW	WSW	NW	NNE	NE	
Vitesse moyenne, m/s .	3,5	4,1	3,7	3,7	3,7	3,1	2,7	2,5	2,3	1,8	2,1	2,6	3,0
Nombre de jours													
Précipitations, 0,1 mm .	0,4	1,3	0,0	0,1	0,2	6,6	14,6	22,0	16,2	6,6	0,4	1,0	69,4
Précipitations, 10 mm .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	5,2	11,2	7,2	2,2	0,0	0,0	28,2
Orage .	0,6	0,3	0,0	0,0	0,6	9,8	13,0	15,6	16,6	8,0	0,2	0,0	64,7
Brouillard .	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	0,4	0,0	2,1
Evaporation													
Moyenne, mm .	276	289	354	344	264	173	107	65	52	97	152	222	2.395

STATION : KOLDA — Latitude : 12°55 N — Longitude : 14°55 W —
Altitude : 23 m. sur la limite

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température													
Minimale moyenne, °C .	13,5	16,4	18,8	20,5	22,4	22,7	22,3	21,9	21,7	21,6	20,2	15,2	19,8
Maximale moyenne, °C .	35,2	37,0	40,2	40,9	39,9	35,4	32,3	31,0	32,2	33,2	34,4	33,2	35,4
Moyenne, °C .	24,4	26,7	29,5	30,7	31,2	29,1	27,3	26,5	27,0	27,4	27,3	24,2	27,6
Tension de vapeur													
Moyenne, mb. .	12,5	12,7	15,1	18,1	21,6	26,6	28,1	28,3	28,6	28,4	24,8	15,7	21,7
Humidité relative													
Minimale moyenne, % .	21	20	18	21	42	47	59	65	63	57	44	30	41
Maximale moyenne, % .	86	74	77	79	81	92	96	97	97	97	97	92	89
Nébulosité													
Moyenne, octas .	2,5	2,1	1,8	1,5	2,7	5,0	5,8	6,7	5,7	4,7	3,1	3,3	3,7
Précipitations													
Hauteur moyenne, mm .	0	0	0	0	20	165	320	440	304	139	20	2	1.410
Vent													
Direction résultante .	NE	NE	NE	N	SW	SW	SW	SW	SW	SW	NW	NE	
Vitesse moyenne m/s .	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3
Nombre de jours													
Précipitations, 0,1 mm .	0,6	0,0	0,0	0,2	2,6	12,2	18,2	24,8	17,4	11,4	1,6	0,8	89,8
Précipitations, 10 mm .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,4	8,4	13,0	9,4	3,6	0,8	0,2	41,2
Orage .	0,2	0,0	0,0	0,0	1,8	11,4	10,4	13,6	7,8	1,6	1,6	0,2	57,4
Brouillard .	0,8	0,8	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,6	1,8	1,4	1,0	0,4	7,6
Evaporation													
Moyenne, mm. .	203	237	281	290	255	133	72	49	56	70	101	148	1.895

STATION : ZIGUINCHOR — Latitude : $12^{\circ}35' \text{ N}$ — Longitude : $16^{\circ}16' \text{ W}$ —
Altitude : 10 m. au sud de la limite

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température													
Minimale moyenne, °C .	16,1	16,7	17,2	18,0	21,3	22,7	22,6	22,3	22,6	22,7	22,1	18,1	20,3
Maximale moyenne, °C .	32,0	33,9	36,6	36,0	35,0	33,1	30,4	29,2	30,9	32,1	32,7	30,6	32,8
Moyenne, °C .	24,1	25,3	26,9	27,9	28,2	27,9	26,5	25,8	26,8	27,4	27,5	24,4	26,6
Tension de vapeur													
Moyenne, mb. .	16,6	17,8	19,3	21,1	25,1	27,9	29,2	29,1	29,6	29,8	27,6	20,2	24,4
Humidité relative													
Minimale moyenne, % .	33	32	28	32	44	55	69	73	68	62	55	45	50
Maximale moyenne, % .	91	91	92	92	94	96	99	99	99	99	99	95	96
Nébulosité													
Moyenne, octas .	2,7	2,1	1,9	1,8	3,4	5,5	6,5	6,7	6,3	5,3	3,9	3,9	4,2
Insolation													
Durée moyenne, heures .	213	228	293	299	273	170	125	93	154	206	234	179	2.407
Pourcentage, % .	60	69	81	80	69	44	32	24	42	56	68	51	56
Précipitations													
Hauteur moyenne, mm .	0	0	0	0	11	136	381	533	391	172	14	3	1.646
Vent													
Direction résultante .	NNE	NNW	WNW	NNW	W	W	WSW	WSW	WSW	NNW	NW	NE	
Vitesse moyenne, m/s .	1,9	2,6	2,9	3,3	3,8	2,9	2,6	2,5	1,9	1,3	1,3	1,6	2,4
Nombre de jours													
Insolation nulle .	2,0	1,4	0,0	0,0	0,2	0,6	2,4	4,0	1,6	0,4	1,0	2,6	16,2
Précipitations, 0,1 mm .	0,2	0,3	0,0	0,0	2,2	11,6	21,6	26,7	21,7	13,1	2,6	0,7	100,7
Précipitations, 10 mm .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	4,1	10,3	13,4	10,8	6,0	0,3	0,1	45,4
Orgage .	0,0	0,0	0,0	0,2	1,8	9,9	18,0	12,8	21,0	19,4	13,2	0,0	86,3
Brouillard .	2,8	0,2	0,4	0,4	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	1,2	1,0	0,6	7,2
Evaporation													
Moyenne, mm .	168	166	199	199	171	111	64	47	53	65	97	138	1.478

1949). Le même passage brusque de la saison sèche à la saison des pluies et inversement, qui se constate en Basse Guinée sous le climat guinéen maritime s'observe également ici, plus au nord ; mais en outre la saison sèche y est plus longue tandis qu'au contraire la saison des pluies y est en général plus courte. Vers le NE, les influences plus arides du climat sahélo-soudanais s'accusent.

2.1. — Température

Le régime thermique est du type sahélo-soudanien, avec deux maxima, le premier en mai, le second en octobre ; et deux minima en décembre-janvier (minima absolu) et en août. Ces caractéristiques sont plus accusées vers l'Est. La température moyenne annuelle varie de $26^{\circ}6$ à $27^{\circ}8 \text{ C}$; la température minimale moyenne mensuelle de $13^{\circ}5$ à $16^{\circ}1 \text{ C}$; la température maximale moyenne mensuelle de $36^{\circ}9$ à $39^{\circ}9 \text{ C}$. L'amplitude thermique est forte.

2.2. — Tension de vapeur d'eau

La tension de vapeur d'eau moyenne annuelle varie de 19,2 à 24,4 mb. Les minima moyens mensuels varient de 9,7 à 16,6 en janvier ; les maxima moyens mensuels de 28,6 à 29,6 en septembre. Les variations annuelles sont très fortes.

2.3. — Humidité relative

Les humidités relatives sont minimales en mars.

	<i>Kaolack</i>	<i>Kolda</i>	<i>Ziguinchor</i>
	%	%	%
Moyennes mensuelles mars .	12	18	28
Elles sont maximales en août .	96	97	99

Les variations journalières et annuelles sont **très fortes**.

2.4. — Précipitations

Les précipitations dépassent généralement 1.000 mm/an. Elles augmentent du nord au sud et de l'est à l'ouest.

Stations	Nioro du Rip	Inhor	Sedhiou	Kolda	Linkerin
Localisation géographique .	13°44 N 15°47 W alt. 18 m	14°27 N 15°39 W alt. 30 m	12°42 N 15°33 W alt. 15 m	12°55 N 14°55 W alt. 23 m	12°58 N 13°44 W alt. 56 m
Moyenne annuelle en mm .	915,9	1.341,1	1.386,9	1.180,3	1.068,4
Nombre de jours .	54,4	61,3	74,9	62,4	54,2
Maximum en mm .	1.115	1.827	1.730	1.559	1.441
Nombre de jours .	56	69	93	72	56
Minimum en mm .	602	1.044	957	999	918
Nombre de jours .	39	42	64	49	48

La saison des pluies commence brusquement début juin pour se terminer aussi brusquement à la mi-octobre. Le mois le plus pluvieux est août. D'une année sur l'autre la lame pluviale varie considérablement. Ces variations sont plus accusées à l'ouest qu'à l'est. Cette hétérogénéité se répercute sur l'intensité des précipitations.

Nombre de jours de fortes pluies

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Kaolack						
0,1 mm .	0,2	6,6	14,6	22,0	16,2	6,6
10 mm .	0,0	2,4	5,2	11,2	7,2	2,2
50 mm .	0,0	0,11	0,50	1,20	0,80	0,07
100 mm .	0,0	0,04	0,07	0,18	0,0	0,0

Maximum absolu 158,7 mm le 17.8.1927

Kolda						
0,1 mm .	2,6	12,2	18,2	24,8	17,4	11,4
10 mm .	0,4	5,4	8,4	13,0	9,4	3,6
50 mm .	0,13	0,30	0,70	1,41	1,11	0,17
100 mm .	0,0	0,0	0,07	0,26	0,11	0,03

Maximum absolu 168,5 mm le 17.8.1925

Nombre de jours de fortes pluies

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Sedhiou						
0,1 mm .	—	—	—	—	—	—
10 mm .	—	—	—	—	—	—
50 mm .	0,07	0,14	0,59	1,93	1,17	0,32
100 mm .	0,0	0,0	0,0	0,17	0,18	0,04
200 mm .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	0,0

Maximum absolu 195,5 mm le 28.8.1921

Ziguinchor						
0,1 mm .	2,2	11,6	21,6	26,7	21,7	13,1
10 mm .	0,4	4,1	10,3	13,4	10,8	6,0
50 mm .	0,0	0,32	1,30	2,61	1,36	0,29
100 mm .	0,0	0,03	0,19	0,57	0,14	0,07
200 mm .	0,0	0,0	0,0	0,03	0,0	0,0

Maximum absolu 216,2 mm le 13.8.1932

Les données recueillies à Séfa permettent de préciser l'action érosive de ces précipitations. " La précipitation la plus forte enregistrée a été, en août 1949, de 117 mm ; l'intensité moyenne d'une pluie, la plus élevée qui ait été notée, est de 1,38 mm/minute (pour une pluie de 83 mm) ; l'intensité maximum d'une pluie de moins de dix minutes étant 1,15 mm/minute." (FAUCK, R., 1955.)

L'indice de saison pluviométrique est 5-0-7 plus rarement 4-1-7.

2.5. — Climat du sol

De nombreuses données ont été recueillies sur les terrains de la CGOT à Sefa, périmètres qui marquent la limite entre sols rouges et sols beiges. Les variations climatiques influent sur l'évolution des profils thermiques et hydriques des sols. Ceux-ci dépendent étroitement des micro-climats locaux, en particulier de la couverture végétale. Mais la couleur et le type de sol jouent un rôle non négligeable.

Influence de la couverture du sol sur le microclimat
Février 1951

	Parcelle cultivée	Lisière forestière
Température de l'air		
Minimum . . .	28°2	25°
Maximum . . .	41°8	37°
Humidité relative		
Minimum . . .	40%	55%
Maximum . . .	51%	62%

D'une façon générale, on constate un décalage des variations de la température du sol par rapport à celle de l'air, qui est faible à 15 cm de profondeur. Ce décalage est journalier :

- maximum température de l'air : 15 heures
- maximum température du sol à 30 cm : 18 heures

et général dans l'année : maxima successifs se faisant sentir

- à 15 cm un jour après celui de l'air
- à 30 cm trois jours après.

L'amplitude des variations de la température de l'air est amortie dans les sols.

Décembre 1951	{	24° pour l'air
Amplitudes journalières		18° pour le sol à 15 cm
		16° pour le sol à 30 cm

“ Au fur et à mesure que la saison sèche s'avance, le sol se dessèche et emmagasine des quantités de chaleur importante. En mai et juin, la température du sol peut atteindre 50° en surface et 40° à 30 cm en terrain couvert ” (FAUCK, 1955).

Moyenne des amplitudes de la température journalière
Janvier 1954 (Séfa)

Profondeur en cm	Forêt sèche	Parcelle nue
15	11°2	15°
30	12°	17°5

Température maximum en Janvier 1954
(sol beige)

Profondeur en cm	Forêt sèche	Parcelle nue
15	36°4	38°9
30	32°8	40°

Comparaison des profils hydriques à Séfa 15.1.1955
(2 mois après la saison des pluies)
% d'humidité

Profondeur en cm	Sol rouge forêt	Sol rouge parcelle nue	Sol beige forêt	Sol beige parcelle nue
0-10	0,6	0,4	0,7	3,6
20-30	0,8	1,2	8,0	4,5
40-60	3,2	4,3	8,4	6,7
60-80	4,0	6,5	8,8	7,7
80-100	5,5	8,4	—	7,2
120	6,9	8,6	—	8,2

Les sols rouges se dessèchent dans les horizons de surface plus rapidement que les sols beiges. Ce fait est probablement en rapport avec la présence de pseudosables cimentés par le fer dont la mouillabilité est faible.

Ces quelques notions peuvent être synthétisées par le calcul de divers indices climatiques.

	Kaolack	Kolda	Ziguinchor
Coefficient de Lang $\frac{P}{T}$	34	51	61
Indice d'aridité de Martonne $\frac{T + 10}{P}$	40	26	22
Indice d'érosion Fournier $\frac{p^2}{P}$	142	137	175
Drainage calculé Hénin $D = \frac{\gamma P_3}{1 + \gamma P_2}$	175 mm	465 mm	695 mm
où $\gamma = \frac{1}{0,15 T - 0,13}$	Nord de la limite	limite	Sud de la limite

3. — Roches — Modelé — Hydrographie

Les sols se développent sur des matériaux sablo-argileux qui sont des produits plus ou moins remaniés de grès argileux d'âge miopliocène : le Continental Terminal. L'observation des puits montre une succession de couches horizontales de sables plus ou moins argileux de couleur blanche à rouge, de grès ferrugineux brun violet assez friables, de lits de rognons d'argiles mauves dans des sables bariolés argileux, de lits d'argiles compactes.

— **Kolda** = puit situé sur le rebord d'un bas plateau à l'ouest de la ville.

Cote du sol = 23 m ?

Coupe géologique par P. ELOUARD.

- 0 -1,80 m : blocs de latérite dans sable rouge.
- 1,80-5 m : grès argileux rougeâtres devenant plus clairs.
- 5 -6 m : argile sableuse bariolée, litée.
- 6 -10 m : argile kaolinique violette, puis jaune.
- 10 -11 m : grès quartzeux grossier, ferrugineux, rouge.
- 11 -12 m : argile violacée.
- 12 -14,6 m : grès argileux jaunâtre à concrétions ferrugineuses.
- 14,6-20 m : argile kaolinique jaune.
- 20 -20,3 m : grès grossier latéritique jaune, très aquifère.

— **Séfa** = puit CGOT sur le bas plateau qui domine la Casamance.

Cote du sol : entre 16 et 18 m ?

Coupe géologique par R. DEGALLIER.

- 0 - 4 m : sable rouge argileux.
- 4 - 11,7 m : latérite.
- 11,7 - 15 m : argile jaune.
- 15 - 25 m : sable blanc jaune avec couches d'argile bariolée.
- 25 - 34 m : grès tendre et sable souvent argileux.
- 34 - 38 m : argile jaune compacte.
- 38 - 41 m : latérite tendre.
- 41 - 43 m : sable jaune marneux.

— **Ziguinchor 3.**

Cote du sol = 3,63 m.

Coupe géologique par R. DEGALLIER et A. GORODISKI.

- 0 - 7,10 m : sable jaune à rares fragments d'Arca.
- 7,10 - 12,15 m : grès argileux gris jaune.
- 12,15 - 21 m : latérite et sable continental.
- 21 - 42,5 m : sables argileux.

— **Balandine** : 25 km au N-NE de Bignona.

Cote du sol = 7,10 m.

Coupe géologique par la SPS.

- 0 - 11 m : sable fin jaune.
- 11 - 20 m : latérite pourpre.
- 20 - 51 m : argile jaune sableuse;
marnes et calcaires marneux coquilliers **miocènes**.
- 51 - 53 m : latérite.
- 53 - 59 m : sable gris grossier.
- 59 - 61,5 m : latérite.
- 61,5 - 106 m : argile grise à vert bleuté avec lignite ; sables gris à
blanc avec nombreuses passées argileuses.

Les matériaux qui participent à la formation des sols sont constitués d'un mélange d'argiles kaolinitiques, de grains de quartz, de sesquioxides de fer (principalement goethite). La mise en place des dépôts du Continental Terminal est liée à l'érosion des régions soulevées des hauts bassins du Sénégal et de la Gambie (P. MICHEL, 1959). Ces régions constituées de roches diverses : granites, schistes, grès, etc.... ont été fortement ferrallitisées dès la fin du Crétacé. Ce sont les produits altérés ruisselés qui ont donné naissance à l'immense nappe de recouvrement qui est le Continental Terminal.

Ces sédiments donnent un modelé de bas plateaux à surface très plane.

On descend par des versants très doux jusqu'aux talwegs. Par endroit des affleurements de cuirasses ferrugineuses forment un petit ressaut de 0,50 à 1 mètre de haut. Ce n'est qu'en bordure de la Gambie et de la Casamance que les talus sont plus accusés de 5 à 20 m. Les parties orientales ont une allure plus massive que les régions littorales. Les cours d'eau importants entaillent profondément ces plateaux alors que les petits marigots coulent à leur surface. Le réseau hydrographique draine les eaux vers le Saloum, la Gambie, la Casamance et son principal affluent la Sangrougrou. Ces fleuves sont en eau toute l'année. Leur lit, souvent envasé en aval, est cependant bien marqué. Le reste du réseau est formé de marigots temporaires qui ressemblent plutôt à des collecteurs. Les profils en travers sont très évasés. L'écoulement n'est fonctionnel sporadiquement qu'en saison des pluies.

Les axes de drainages se terminent ordinairement par des plaines marécageuses souvent de grandes étendues, plus ou moins colmatées, plaines qui les relient aux cours d'eau permanents. Ces derniers entaillent les plateaux sur 10 à 20 mètres d'épaisseur. Ces entailles accusées par le cuirassement augmentent du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest où elles peuvent atteindre 30 à 40 mètres.

Sauf en Basse Casamance, le réseau hydrographique est très lâche ; il individualise une série de plateaux à topographie plane. Les pentes qui sont en rapport avec les axes d'écoulement des eaux sont longues et généralement inférieures à 2%. Le centre des plateaux, souvent très large, est extrêmement plan, parfois déprimé et mal drainé. Quelque fois une ligne de crête, peu accusée, se dégage du paysage. Elle est alors généralement surmontée d'une cuirasse ancienne et en voie de démantèlement. Un remblayage, le plus souvent sableux, parfois un peu argileux, jalonne les collecteurs. Ces derniers se raccordent à des plaines envasées par des alluvions marines salées qui bordent le cours de la Gambie et de la Casamance.

Autour des plateaux, les pentes sont coupées par affleurements de cuirasses ferrugineuses. En Casamance (S. DUBOIS, 1949 ; R. FAUCK, 1955) ces cuirasses sont au nombre de deux et sont mises à l'affleurement pratiquement partout, entre 27-29 mètres et 11-15 mètres. On les retrouve au nord de la Gambie où la cuirasse supérieure domine certains plateaux (Koutal-N'Dofane). Ces formations présentent les caractéristiques de cuirasses de nappe. Leur origine serait liée aux abaissements successifs de la nappe phréatique au cours du quaternaire. Les processus d'accumulation par apports obliques du fer vers les exutoires des plateaux expliquent le plus grand développement et l'induration plus grande des cuirasses de bordure (R. MAIGNIEN, 1958). Le mécanisme de ces phénomènes est à rapprocher de la mise en place actuelle d'une cuirasse de nappe, sous plusieurs dizaines de mètres de sédiments, au niveau de la mer (falaises de Varéla, Guinée Portugaise).

4. — Végétation

Les peuplements végétaux marquent le passage des savanes sahélo-soudanaises et plus particulièrement sahélo-sénégalaises, aux forêts semi-humides Basse-Casamance (A. AUBREVILLE, 1949).

— au N et NE, c'est le domaine de la savane soudanaise, sous-secteur soudano-guinéen (J. TROCHAIN, 1936). Ce sont des associations où, à des arbres d'assez belle venue, se mélange un tapis de grandes *Andropogonées*, brûlé presque chaque année. Les peuplements sont plus ou moins densément boisés et font parfois place à des îlots de forêts sèches. Ils sont très mélangés, mais un petit nombre d'espèces domine localement et il est difficile de caractériser ces peuplements par une ou deux espèces dominantes. Ces savanes boisées sont fréquemment envahies par des formations plus xérophytes (*Combretacées* — *Acacia*) qui prennent de plus en plus d'importance dans les peuplements dégradés par les feux ou la culture. Les types les plus courants sont les savanes à *Pterocarpus erinaceus*, à *Sterculia setigera*, à *Afrormosia laxiflora*, à *Bombax costatum*, à *Prosopis africana*.

La dégradation par l'homme apporte des transformations profondes qui multiplient les faciès à sous-bois arbustif dominant avec principalement *Terminalia macroptera*. A ce stade, les *Sterculia* et les *Bombax* disparaissent. La strate arborée est bientôt constituée presque exclusivement de *Cordyla africana* et *Parkia biglobosa*. Les *Pennisetum* envahissent le tapis herbacé. Le paysage prend un faciès de savane parc. De grandes taches colonisées par *Imperata cylindrica* correspondent à d'anciennes zones de cultures épuisées et abandonnées par l'homme.

— à l'Est est le domaine de la forêt sèche à sous-bois de Bambous (*Oxythenanthera abyssinica*). La futaie est constituée d'assez grands arbres espacés atteignant 15-20 mètres de haut, d'espèces sahélo-soudaniennes et soudano-guinéennes où dominent les grandes légumineuses : *Cordyla africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Afrormosia laxiflora*, *Prosopis africana*, *Erythrophileum africanum*, *Parkia biglobosa*, *Sterculia setigera*, *Bombax costatum*. De beaux peuplements réguliers de *Daniella oliveri* et d'*Ekebergia senegalensis* signalent des influences humaines. Après débroussement, les champs laissés en jachères sont littéralement envahis par *Pennisetum pedicellatum*.

Le sous-bois est constitué irrégulièrement de hautes touffes (5-10 mètres de haut) de bambous d'Abyssinie, et par des arbustes et sous-arbrisseaux disséminés (*Combretum*).

— au Sud-Ouest est le domaine des forêts semi-humides de Basse Casamance. Ce sont des faciès de transition entre les forêts denses humides et les forêts sèches claires des pays à longue saison sèche. Ces forêts sont essentiellement des formations à *Parinari excelsa*, *Erythrophileum guineense*, *Detarium senegalense*, *Azelia africana* à cimes jointives. Ces forêts se relient

par transition progressive aux forêts sèches de la zone sahélo-soudanaise. Elles sont remplacées dans les environs d'Oussouye par de beaux peuplements d'*Elaeis guineense*.

A ces formations climatiques s'ajoutent des formations édaphiques d'un moins grand intérêt pour cette étude puisqu'elles correspondent à des sols beaucoup plus humides, souvent hydromorphes. Ce sont :

- des peuplements herbacés de plaines boisées inondables halophytes ou non,
- des palmeraies d'*Elaeis* et de Roniers sur les franges sableuses des zones marécageuses,
- des associations de mangrove en bordure de la côte envasée,
- des galeries forestières diverses le long des marigots fonctionnels.

5. — Utilisation des sols

Les régions au nord de la Gambie sont assez fortement cultivées. Les régions casamançaises le sont beaucoup moins. Dans l'ensemble, les débroussements sont assez récents (moins de 50 ans). Il est possible cependant d'observer les traces d'influences anthropiques beaucoup plus anciennes qui remontent à plusieurs siècles.

L'exploitation traditionnelle des terres hautes est l'assolement arachide-mil — jachère. Des améliorations récentes tendent à introduire une jachère travaillée ou une sole d'engrais verts pour parer à la dégradation des sols. Des tentatives sont en cours pour substituer aux cultures de graminées traditionnelles (mil — sorgho) une sole de riz pluvial ("riz sec").

Les études sur la fertilité des sols sont nombreuses et variées :

- actions des services de l'Agriculture et du CRA de Bambey à Nioro du Rip,
- de l'IRHO à la station de Darou et dans le Laghem oriental,
- de la station de Séfa sur les périmètres CGOT en Casamance.

L'humidité qui va croissante vers le SW amène une plus grande diversité des cultures en Casamance : riziculture d'inondation — cultures désaisonnées de patates — manioc — agrumes — bananiers — palmiers à huile — bientôt cocotiers.

En bordure de la Casamance et de la Gambie, sur terrains de mangrove, les cultivateurs ont atteint une grande technicité dans la culture du riz. De grandes surfaces restent cependant implantées qui justifient un recensement des possibilités agronomiques de ces régions.

II. — LES SOLS BEIGES ET LES SOLS ROUGES

I. — LES SOLS BEIGES

En dehors de leur couleur, les sols beiges sénégalais se caractérisent par une individualisation prononcée du fer et un lessivage de l'argile qui amène en profondeur la formation d'un horizon plus ou moins colmaté.

Ces sols sont typiquement des **sols ferrugineux tropicaux lessivés**. L'horizon argileux profond, d'origine pédogénétique, influe profondément sur l'immobilisation des oxydes de manganèse et de fer.

On est ainsi conduit à distinguer (R. MAIGNIEN, 1959) :

- les sols lessivés sans concrétions,
- les sols lessivés à concrétions,
- les sols lessivés cuirassés.

1. — Sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions

L'ensemble de ces sols est parfois groupé sous le nom de "sols beiges du Sine". On les observe au nord du Niombato et du Laghem ; entre Fatick et Kaolack. Ce sont des sols moyennement développés qui, par leur texture sableuse, marquent le passage vers les sols ferrugineux tropicaux non lessivés du type "dior". Ils s'en distinguent cependant par un net lessivage de l'argile, lié à l'évolution d'un horizon de matière organique mieux marqué. Ces processus se matérialisent par un profil caractéristique le long duquel on distingue de haut en bas :

- un horizon gris, faiblement humifère, à humus bien mélangé à l'argile, peu structuré et peu épais (20 cm),
- un horizon lessivé en fer et en argile, de couleur claire (beige — 10 YR) peu structuré, d'épaisseur variable (30-70 cm),
- un horizon d'accumulation argileuse, de couleur plus soutenue (ocre à ocre-rouge 7,5 YR) dont l'épaisseur atteint 40 à 60 cm.

L'ensemble du profil ne dépasse pas 150 cm.

1.1. — Campement de LATEMINGUE (Laghem Oriental) date 29.6.57

Modelé extrêmement plat — aucun écoulement apparent — végétation dégradée par la culture — peuplement de *Calotropis procera* — régime agronomique : arachide mil — rendements médiocres.

Description du profil

- 0- 17 cm : gris beige — faiblement humifère — sableux — structure nuciforme, fine, moyennement développée — porosité faible.
- 17- 85 cm : ocre-beige — sableux — structure peu développée, grossièrement nuciforme avec quelques angles — poreux — lessivé.
- 85-120 cm : ocre, légèrement rougi — sableux avec léger enrichissement en argile — un peu de pseudo-sable — structure plus nettement nuciforme, mais grossière, légèrement durcie — cohésion moyenne.
- 120 cm : jaunâtre — sableux faiblement argileux — faible ségrégation du fer en taches rouilles, diffuses, rares — structure fondue — cohésion faible.

L'ensemble, sauf dans l'horizon de surface qui montre un léger engorgement paraît bien drainé.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-17	17-85	85-120	120-150
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	28,9	32,1	34,0	26,8
Sables fins	61,9	56,2	49,3	56,7
Limon	3,5	3,5	2,8	2,8
Argile	3,0	7,5	12,5	12,0
Matière organique	0,52	0,26	0,14	—
Matière organique ‰				
Carbone	3,1	1,5	0,8	—
Azote	0,24	0,15	—	—
C/N	12,5	10,0	—	—
Matières humiques totales	2,2	3,5	—	—
Matière humiques précipitables	1,9	3,2	—	—
Acidité pH	6,1	5,8	5,1	5,0
Complexe absorbant meq %				
Ca	1,15	0,95	0,7	0,7
Mg	0,5	0,3	0,1	0,4
K	0,13	0,10	0,09	0,07
Acide phosphorique total ‰	0,38	0,29	0,25	0,25
Teneurs en fer ‰				
Fer total	7,5	9,2	12,1	11,1
Fer libre	4,4	5,6	7,2	6,2
Fer libre/fer total	0,58	0,60	0,59	0,55

Les résultats analytiques indiquent une texture extrêmement sableuse en surface. Le lessivage de l'argile est prononcé, supérieur à 4. Les sables fins sont plus abondants que les sables grossiers. Les teneurs en matière organique sont faibles et diminuent rapidement avec la profondeur. L'humification est excellente, mais les réserves sont réduites. Le degré de minéralisation est élevé. La fertilité organique est bonne, mais fugace. Elle disparaît rapidement avec le travail du sol qui accélère l'oxydation et donc la minéralisation.

Le complexe absorbant est légèrement désaturé surtout dans les horizons plus argileux. En valeur absolue, les teneurs en cations sont faibles, par contre leur répartition est bonne.

L'augmentation de S en surface, ainsi que des teneurs en acide phosphorique total montre le rôle d'amélioration de la matière organique.

L'acidité pH est fonction de l'ensemble de ces caractéristiques. De 6,1 en surface elle s'abaisse rapidement à 5,0 en profondeur.

Les variations du fer total et du fer libre entre les différents horizons confirment la migration verticale de cet élément. Les rapports fer libre/fer total montrent son extrême mobilité. Le début de ségrégation en C correspond à une légère diminution du rapport.

1.2. — Village de LATEMINGUE (Laghem oriental) — date 29.6.57

Modelé dunaire aplani.

Végétation arbustive très dégradée avec nombreux *Bauhinia reticulata*.

Régime agronomique : arachide, mil.

Description du profil

0- 25 cm : gris beige — sableux — structure faiblement développée, grossièrement nuciforme — nombreuses galeries d'insectes — ensemble assez poreux.

25- 60 cm : beige légèrement rougi — sableux — structure peu développée à tendance nuciforme — un peu durci — lessivé.

60-100 cm : rougi — sableux faiblement enrichi en argile, structure fondue donnant des écailles au choc du marteau — durci — moins poreux.

100-200 cm : sable jaunâtre peu cohérent.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-25	25-60	60-100	+ de 100
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	42,3	30,6	31,3	27,6
Sables fins	49,3	63,3	59,0	62,1
Limon	1,7	1,8	1,0	1,3
Argile	2,3	2,5	6,5	7,3
Matière organique	0,40	0,22	0,17	0,10
Matière organique %				
Carbone	2,3	1,3	—	—
Azote	0,15	0,10	—	—
C/N	15,3	13,0	—	—
Matières humiques totales	3,1	0,9	—	—
Matières humiques précipitables	2,1	0,4	—	—
Acidité pH	5,2	5,2	5,4	5,2
Complexe absorbant meq %				
Ca	0,95	0,90	1,05	0,7
Mg	0,2	0,2	0,2	0,4
K	0,09	0,09	0,09	0,07
Acide phosphorique total ‰	0,22	0,47	0,18	0,25
Teneurs en fer ‰				
Fer total	5,7	7,7	5,8	3,8
Fer libre	4,2	4,8	5,2	5,3
Fer libre/fer total	0,73	0,62	0,89	0,60

L'ensemble de ces résultats signale un sol moins évolué, plus pauvre et plus dégradé que le profil précédent. Il possède les caractéristiques d'un "dior", sauf le lessivage en argile plus prononcé. L'importance de la matière organique est toujours aussi marquée. La mobilisation du fer est intense.

1.3. — DIERY (Laghem Oriental) — date 30.5.59

Modelé dunaire aplani — sommet de croupe — jachère à *Guiera senegalensis*, après rotation arachide-mil.

Description du profil

0- 25 cm : brun grisâtre assez clair — peu humifère — sableux — structure particulière, assemblage compact de grains de quartz donnant un ensemble peu poreux — cohésion très faible.

25- 55 cm : ocre, légèrement rougi — sableux — structure fondue — cohésion faible — peu poreux.

55-110 cm : légèrement rougi — sableux — structure fondue peu développée, légèrement anguleuse — plus poreux.

110 cm : sables ocres.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-25	25-55	55-110	+ de 110
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	55,6	53,4	57,3	51,3
Sables fins	38,7	38,3	36,4	37,2
Limon	1,5	1,8	—	2,0
Argile.	2,5	4,8	—	8,3
Matière organique	0,34	0,17	—	—
Matière organique ‰				
Carbone	2,0	1,0	—	—
Azote	0,15	0,10	—	—
C/N	13,3	10,0	—	—
Matières humiques totales	1,8	0,9	—	—
Matières humiques précipitables	1,6	0,6	—	—
Acidité pH	6,0	6,2	6,2	5,6
Complexe absorbant meq %				
Ca	0,95	1,15	0,8	0,5
Mg	0,4	0,4	0,3	0,3
K	0,11	0,11	0,07	—
Acide phosphorique total ‰	0,40	0,25	0,18	0,34
Teneurs en fer ‰				
Fer total	5,9	7,8	7,0	9,3
Fer libre	3,0	4,1	3,9	5,5
Fer libre/fer total	0,50	0,53	0,56	0,58

Ce sol est également intergrade entre les " diors " et les sols ferrugineux lessivés. Le lessivage de l'argile est peu intense. Il est à noter que ce sol ainsi que le précédent sont beaucoup plus riches en sables grossiers. Ceci est dû à la reprise éolienne des sédiments du Continental Terminal en bordure de la vallée du Saloum. Le matériau originel est donc plus récent et il est possible que ce fait influe sur le degré d'évolution des sols.

1.4. — THIALANE (Laghem Oriental) — date 30.6.59

Modélé dunaire aplani.

Description du profil

9- 25 cm : gris brun assez humifère — sableux — structure particulaire — assez tassé — peu poreux.

25- 60 cm : gris beige — sableux — structure peu développée à tendance nuciforme, plus cohérent — plus poreux.

60-110 cm : ocre rouge un peu durci par le fer — sableux — structure fondue — donne des écailles au choc

+ de 110 cm : sables ocre-jaune sans cohésion.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-25	25-60	60-110	+ de 100
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	35,3	32,0	40,0	32,7
Sables fins	57,4	59,1	47,4	52,9
Limon	2,3	1,8	1,8	1,5
Argile	3,5	6,0	9,8	11,8
Matière organique	0,52	0,24	—	—
Matière organique %				
Carbone	3,0	1,4	—	—
Azote	0,15	0,13	—	—
C/N	20,0	10,9	—	—
Matière humique totale	1,5	0,9	—	—
Acidité pH	6,0	5,4	5,4	5,2
Complexe absorbant meq %				
Ca	1,0	0,6	0,6	0,5
Mg	0,3	0,5	0,5	0,5
K	0,08	0,07	0,07	0,06
Acide phosphorique total ‰	0,27	0,27	0,20	0,20
Teneurs en fer ‰				
Fer total	7,3	8,4	9,7	11,0
Fer libre	4,2	4,8	5,9	—
Fer libre/fer total	0,57	0,56	0,60	—

Ce profil, toujours très sableux, est typiquement un "sol beige du Sine". Le lessivage du fer et de l'argile est prononcé. Les données analytiques signalent une mauvaise évolution de la matière organique en surface du type hydromorphe.

L'ensemble des données recueilli sur ces sols permet de distinguer deux séries évolutives, d'après les formes d'oxydation du fer en B :

- une série à horizon B rougi qui marque le passage aux "diors",
- une série à horizon B ocre-beige, à nette accumulation d'argile et de fer, qui fait le jalon vers les sols ferrugineux à taches.

D'une façon générale ces sols sont étroitement liés à l'évolution de l'horizon humifère de surface qui règle leur degré de fertilité.

2. — Sols ferrugineux tropicaux lessivés avec concrétionnement

L'intensité du concrétionnement ferrugineux en profondeur permet de distinguer deux sous-groupes :

- les sols beiges à taches ferrugineuses peu durcies,
- les sols beiges à concrétions ferrugineuses indurées.

Les premiers dominent au nord de la Gambie, les seconds sont très développés en Moyenne Casamance où ils passent fréquemment aux sols cuirassés.

a) Sols beiges à taches ferrugineuses

Ces sols se distribuent sur les pentes peu marquées (< 2%) qui bordent les bas-plateaux.

2.1. — TIAVANDO, 10 km au Sud de Kaolack, à 300 mètres à l'Est de la route de Nioro du Rip.

Contre-bas d'une pente à faible pendage.

Savane-parc à *Cordyla africana*, quelques *Bauhinia reticulata*, jachère post-culturale à *Ctenium elegans* et *Eragrostis tremula* après assolement arachide-mil — Rendements médiocres.

Description du profil

- 0- 30 cm : gris beige, assez bien humifère — sableux — structure à tendance grumeleuse, faiblement développée, paraît peu stable — cohésion faible — assez poreux.
- 30- 65 cm : beige un peu grisâtre — sableux — structure nuciforme peu développée — poreux — lessivé.
- 65-120 cm : ocre-beige — sableux — structure faiblement développée à tendance nuciforme, quelques angles — poreux — bien lessivé.
- 120-180 cm : beige avec légère ségrégation du fer, en forme de taches arrondies, mal individualisées, diffuses, non durcies — sablo-argileux — structure mal développée de nuciforme à polyédrique — un peu de pseudo-sable — assez poreux.
- + de 180 cm : jaunâtre, matériau originel sablo-argileux (Continental Terminal).

Comme la majorité des sols de la région, le profil est très sableux en surface. Le coefficient de lessivage de l'argile dépasse 4 ; il est fort. La prédominance de sables fins sur les sables grossiers signale le faible remanement superficiel du Continental Terminal.

Les teneurs en matière organique sont faibles. Cette dernière est cependant bien humifère (humus/MO $\approx$ 0,5) se composant essentiellement

Résultats analytiques

	Profondeur en cm				
	0-30	30-65	65-120	120-180	+ de 180
Composition mécanique %					
Terre fine	100	100	100	100	100
Sables grossiers	28,3	28,5	28,0	32,5	24,8
Sables fins	65,2	61,9	64,0	50,9	59,2
Limons	2,2	2,5	2,5	3,0	2,7
Argile	2,6	5,5	4,2	12,0	11,5
Matière organique	0,47	0,27	—	—	—
Matière organique‰					
Carbone	2,7	1,6	—	—	—
Azote	0,23	0,14	—	—	—
C/N	11,7	11,4	—	—	—
Matières humiques totales	2,1	1,3	0,8	—	—
Matières humiques précipitables	1,8	0,7	0,6	—	—
Acidité pH	5,4	5,3	5,1	5,3	5,2
Complexe absorbant meq %					
Ca	0,70	0,65	0,60	0,90	0,95
Mg	0,70	0,20	0,10	0,10	0,20
K	0,11	0,08	0,07	0,08	0,08
Acide phosphorique total ‰	0,27	0,29	0,31	0,29	0,29
Teneurs en fer ‰					
Fer total	7,3	2,6	7,7	12,6	12,1
Fer libre	4,0	4,9	4,3	7,0	6,9
Fer libre/fer total	0,54	0,56	0,56	0,55	0,56

d'acides humiques précipitables. Cet ensemble de résultats est précisé par le rapport C/N proche de 11. Mais ce sol manque de réserves organiques qui ont été brûlées par de nombreuses années de culture.

Le complexe absorbant est moyennement saturé. Les quantités absolues de calcium sont faibles. Par contre le magnésium et surtout le potassium sont relativement abondants. Les cations légèrement lessivés en A_2 , s'accumulent en profondeur vers 150 cm. Le seul mode d'enrichissement est le retour en surface des éléments prélevés dans les horizons profonds par la végétation. Le ralentissement de ce mécanisme par des rotations culturales écourtées explique l'acidité pH de ces sols (5,4 à 5,1).

Les teneurs en acide phosphorique total sont très faibles.

Le fer se trouve sur les formes éminemment mobilisables.

L'accumulation est sensible vers 120 cm.

2.2 — Village de HANENE (Laghem) — date 29.6.57

Modelé doucement vallonné.

Mi-pente d'un glacis se raccordant à un bas-plateau.

Pente 2-3 %.

Savane-parc à *Cordyla africana* à jachère à arachide.

Description du profil

0- 25 cm : gris brun — sableux — structure nuciforme un peu anguleuse légèrement durcie — peu stable — poreux.

- 25- 50 cm : beige grisâtre — sableux — structure peu développée à tendance nuciforme — lessivé.
- 50- 85 cm : beige, légèrement rougi — sableux — structure peu développée, particulière — assez poreux — lessivé.
- 85-155 cm : beige plus clair — sableux légèrement argileux — structure à tendance polyédrique massive — pseudo-sable — paraît relativement bien drainé — légère ségrégation du fer vers le bas de l'horizon sous forme de taches diffuses et de marbrures.
- 155-210 cm : beige jaunâtre très clair — sablo-argileux — taches ferrugineuses bien individualisées, peu nombreuses, légèrement durcies, se coupant à l'ongle — structure fondue.
- + de 210 cm : sables argileux jaunâtres — (Continental Terminal).

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-25	50-85	85-155	155-210
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	30,2	30,6	28,6	27,7
Sables fins	61,4	57,5	46,9	48,5
Limon	3,5	2,3	2,7	3,7
Argile	3,3	8,0	19,8	10,5
Matière organique	0,74	0,19	—	—
Matière organique %				
Carbone	4,3	1,1	—	—
Azote	0,27	0,09	—	—
C/N	15,9	12,2	—	—
Matières humiques totales	3,2	2,2	—	—
Matières humiques précipitables	0,9	0,6	—	—
Acidité pH				
Complexe absorbant meq %				
Ca	1,6	0,7	0,9	0,75
Mg	0,5	0,4	0,6	0,4
K	0,11	0,09	0,08	0,11
Acide phosphorique total %	0,43	0,29	0,27	0,34
Teneurs en fer ‰				
Fer total	7,4	7,3	11,2	11,3
Fer libre	4,3	4,5	6,3	6,7
Fer libre/fer total	0,57	0,61	0,56	0,59

Ces données sont caractéristiques. On constate l'extrême importance de l'horizon de matière organique sur les différents processus pédogénétiques. Ici les teneurs sont bonnes (0,74 %). L'emprise agricole, plus récente, ne masque pas les caractéristiques originelles de la matière organique — accumulation en surface sur une faible épaisseur, richesse en carbone, rapport C/N supérieur à 15, matières humiques précipitables en faibles quantités par rapport à l'humus total, couleur gris-foncé ; l'ensemble signalant une évolution en milieu réducteur et acide en saison des pluies.

Les formes humifères solubles où dominent les acides fulviques sont les agents principaux du lessivage dont le coefficient approche 5. L'influence de la matière organique se retrouve sur une meilleure saturation du complexe absorbant en surface (pH 6,0) et des teneurs plus élevées en calcium, potassium et acide phosphorique. On constate une accumulation des cations en B. La matière organique influe également sur la mobilisation du fer.

Ce type de sol est fréquent au nord de la Gambie, dans le Niombato et le Laghem. On l'observe à Darou Pakatiar — Thiare — N'Deneu — Taiba Manate — Keur Saete Ava — Keur Ali Bassine. Les seules variations morphologiques affectent la couleur de l'horizon humifère qui s'éclaircit avec l'emprise agricole, et la profondeur de l'horizon à taches ferrugineuses qui varie de 130 à 185 cm. Les données analytiques suivent les variations des teneurs en matière organique. D'une façon générale, ces sols sont assez bien drainés, même au niveau de l'accumulation argileuse. Les engorgements de surface découlent surtout de l'intensité des précipitations.

Certains sols formés sur remblayages sableux méritent une mention spéciale car ils se caractérisent par des accumulations ferrugineuses sous forme de raies subhorizontales. Ces processus sont fréquents, ils ont été observés à Salick et à Darou.

2.3. — DAROU (Station IRHO) — date 17.1.1953

Pente de 2% menant au plateau à sols rouges — brise feux à mi-pente.
Savane arborée dense — ancienne jachère de 10 ans.

Description du profil

- 0- 35 cm : gris, légèrement humifère — finement sableux — structure particulière.
- 35- 53 cm : gris beige — sableux plus grossier — structure nuci-forme faiblement développée — poreux.
- 53- 75 cm : un peu plus clair, taches et trainées ferrugineuses diffuses — finement sableux — structure fondue à tendance particulière — cohésion faible — poreux.
- 75-140 cm : identique avec quatre lignes d'accumulation sub-horizontales — ferrugineuses, légèrement indurées.
- 140-160 cm : très clair avec quelques trainées ferrugineuses diffuses — sableux — peu cohérent.
- + de 160 cm : ocre rouille avec taches et trainées ferrugineuses, un peu durcies — sablo-argileux.

L'hétérométrie des sables signale un remblayage sableux, avec lessivage des bases extrêmement accusé vers la profondeur. Il est probable que les raies ferruginisées matérialisent une microhétérogénéité dans le dépôt, les sesquioxydes de fer s'immobilisant aux contacts de sédiments plus grossiers.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm					
	0-35	35-53	53-75	100-140	140-160	+ de 160
Composition mécanique %						
Terre fine	100	100	100	100	100	100
Sables grossiers	32,3	30,1	26,9	36,7	31,7	32,1
Sables fins	56,9	58,4	62,9	58,5	62,3	51,4
Limon	5,8	3,5	5,6	1,5	1,8	0,5
Argile	3,2	3,6	3,6	2,0	0,5	13,0
Matière organique	0,85	0,34	0,16	—	—	—
Matière organique ‰						
Carbone	4,9	2,0	—	—	—	—
Azote	0,2	0,2	—	—	—	—
C/N	21,5	10,8	—	—	—	—
Matières humiques	2,0	0,4	—	—	—	—
Acidité pH.	6,6	6,4	6,5	6,6	6,5	7,0
Complexe absorbant meq %						
Ca	1,68	1,43	0,50	0,29	2,0	3,42
Mg	0,40	0,4	0,4	0,4	0,74	1,00
K	0,15	0,15	0,15	0,13	0,15	0,17
Na	0,31	0,16	0,19	0,16	0,19	0,34
S	2,54	2,14	1,24	0,96	3,08	4,93
Acide phosphorique total ‰	0,67	0,67	0,69	0,65	0,61	0,39

Lorsque le drainage se ralentit, la tendance au concrétionnement s'accuse, les taches ferrugineuses s'indurent, montrant le passage aux sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions.

2.4. — DAROU (Station IRHO) — date 17.1.53

Zone légèrement déprimée en forme de collature.

Savane arborée épaisse.

Description du profil

- 0- 45 cm : gris noir, humifère — finement sableux — structure nuciforme à tendance grumeleuse — surface durcie.
- 45- 80 cm : beige — sablo-argileux — structure nuciforme bien développée — horizon très durci.
- 80-120 cm : beige ocre, quelques concrétions ferrugineuses, petites, durcies — brun-rouille — argilo-sableux — structure polyédrique mal développée — peu poreux par pores tubulaires — cohésion forte.
- 120-160 cm : beige ocre avec taches et trainées ferrugineuses diffuses peu indurées — ségrégation plus poussée, quelques zones mal délimitées blanchies — argilo-sableux — structure assez bien développée de nuciforme à polyédrique — tendance au colmatage.
- + de 160 cm : grès argileux bariolés avec taches ferrugineuses légèrement durcies.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm				
	0-25	60-80	100-120	140-160	180
Composition mécanique %					
Terre fine	100	100	100	100	100
Sables grossiers	17,4	14,3	15,5	15,4	15,1
Sables fins	65,5	51,8	55,2	48,8	57,2
Limon	3,2	2,4	2,4	5,0	3,7
Argile	7,6	27,6	24,4	29,4	22,8
Matière organique	0,83	0,38	—	—	—
Matière organique ‰					
Carbone	4,9	2,2	—	—	—
Azote	0,25	0,29	—	—	—
C/N	19,2	7,6	—	—	—
Matière humique (C)	0,5	0,2	—	—	—
Acidité pH	6,5	6,5	6,1	5,4	5,7
Complexe absorbant meq %					
Ca	3,28	3,96	3,25	3,50	2,18
Mg	0,74	1,74	0,50	0,40	0,50
K	0,15	0,04	0,15	0,15	0,15
Na	0,26	0,36	0,40	0,21	0,19
S	4,43	6,10	4,30	4,26	2,96
Acide phosphorique total ‰	0,39	0,37	0,33	0,41	0,47

Il est à signaler que l'induration se réalise en premier lieu au sommet de l'horizon de ségrégation.

La position en contre-bas des pentes à sols ferrugineux tropicaux lessivés accuse un enrichissement en argile et en bases assez net. L'hydromorphie temporaire qui s'impose en saison des pluies par accumulation des eaux de ruissellement, oriente et précise l'évolution de la matière organique en milieu réducteur (C/N $\approx$ 20) et favorise le lessivage **oblique** du fer.

b) Sols beiges à concrétions ferrugineuses

Les sols beiges à concrétions se distribuent sur les modelés à drainage réduit : bas plateaux, bas de pente, zones déprimées. Ils s'observent fréquemment aussi à proximité d'affleurements cuirassés ou de sols rouges ferrallitiques. Ils marquent un degré de lessivage supplémentaire par rapport aux sols précédents. Ils représentent donc un second stade dans l'évolution du groupe ferrugineux tropical lessivé et concrétionné. Peu développé au NW de la Gambie, ces sols prennent une grande importance à l'Est et au SE, principalement en Moyenne et en Haute Casamance.

2.5. — Village de MACCA (Laghem) — date 30.5.57

Zone déprimée, dominée par un ressaut cuirassé.

Savane arborée dégradée à *Cordyla africana*, *Combretum glutinosum* et *Eliotii*. Jachère à arachide.

Description du profil

- 0- 30 cm : gris — brun foncé — sableux — peu structuré, agrégats anguleux à particulières — horizon tassé mais gros pores tubulaires — durci — cohésion forte.
- 30- 60 cm : ocre beige — sableux — structure nuciforme légèrement anguleuse — durci — cohésion très forte.
- 60-105 cm : beige clair — sablo-argileux — structure à tendance polyédrique peu développée — cohésion forte — pores tubulaires.
- 105-145 cm : horizon blanchi — action de nappe suspendue temporaire — sablo-argileux — nombreuses taches et concrétions noires, assez indurées mais se coupant facilement, bien individualisées.
- 145-165 cm : horizon concretionné — nombreuses pisolithes brunes ferrugineuses et noires manganifères, ces dernières plus petites et plus arrondies, taches plus ou moins diffuses noires et rouges dans un remplissage argilo-sableux blanchi.
- 165-186 cm : horizon bariolé — taches et concrétions noires durcies, mais plus rares — argileux — structure polyédrique bien développée — passe aux sables argileux du Continental Terminal.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm					
	0-30	40-60	80-105	125-145	145-165	165-185
Composition mécanique %						
Terre fine	100	100	100	85	63	95
Sables grossiers	18,5	20,6	15,7	15,5	15,3	13,6
Sables fines	66,2	57,4	47,5	48,4	48,6	51,5
Limon	5,0	4,7	5,5	5,2	6,0	6,7
Argile	8,3	15,0	28,8	28,3	28,0	26,5
Matière organique	0,93	0,38	—	—	—	—
Matière organique ‰						
Carbone	5,4	2,2	—	—	—	—
Azote	0,44	0,22	—	—	—	—
C/N	12,2	10,0	—	—	—	—
Matières humiques totales	2,7	1,1	—	—	—	—
Matières humiques précipitables	2,5	—	—	—	—	—
Acidité pH	6,6	6,5	5,2	5,5	5,8	6,1
Complexe absorbant meq %						
Ca	2,0	1,9	2,1	2,0	2,0	2,1
Mg	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1
K	0,41	0,09	0,12	0,14	0,14	0,14
Acide phosphorique total ‰	0,45	0,47	0,25	0,31	0,25	0,31
Teneurs en fer ‰						
Fer total	9,2	8,7	12,0	—	26,0	18,3
Fer libre	5,7	5,6	6,9	15,0	16,0	11,5
Fer libre/fer total	0,61	0,64	0,79	—	0,76	0,62

Ce sol est beaucoup plus argileux que les précédents (25 à 30 % d'argile contre 7 à 15 %). Le coefficient de lessivage est plus faible (inférieur à 4) mais en valeur absolue l'accumulation argileuse est plus forte et se réalise sur une plus grande épaisseur. Il y a d'ailleurs une certaine contradiction entre l'épaisseur des horizons lessivés et l'importance de l'illuviation des matériaux fins. Cette contradiction n'est qu'apparente car ce type de sol, très sensible à l'érosion par l'eau, est normalement décapé en surface. Le profil est généralement tronqué. Les sables fins dominent les sables grossiers. Cela, lié à la nature argileuse des sédiments, donne un ensemble à drainage déficient.

En relation avec ce fait, on constate une augmentation notable des teneurs en matière organique qui avoisinent 1 % dans l'horizon de surface. La mise en culture a provoqué une bonne évolution de cette dernière : rapport humus/matière organique supérieur à 30, prédominance d'humus précipitable, C/N avoisinant 11.

Ces données sont à rapprocher des valeurs de l'acidité pH en surface (6,6-6,5) ce qui est excellent dans cette région. Le pH s'abaisse rapidement à 5,2 dans l'horizon lessivé pour remonter rapidement au niveau de l'illuviation.

L'étude du complexe absorbant complète ces résultats. La somme des bases échangeables est supérieure à 3,5-4 milliéquivalents % ce qui est excellent pour un sol ferrugineux sénégalais. Le calcium atteint 2 meq %. Les teneurs en potasse sont fortes en surface.

L'acide phosphorique se trouve toujours en faibles quantités — 0,45 % de P_2O_5 total en surface montre le rôle primordial de la matière organique sur l'évolution de ces sols.

Le fer est sous une forme extrêmement mobile et précise l'importance de la ségrégation ferrugineuse qui provoque le concrétionnement.

Le profil suivant, où l'immobilisation du fer et du manganèse est moins poussée, fait la liaison avec les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches ferrugineuses.

2.6. — Village de COKI-NABO (Laghem) — date 30.5.59

Zone plane.

Végétation de jachère essentiellement herbacée.

Description du profil

0- 35 cm : gris brun foncé — sableux — structure faiblement nuciforme, très travaillé par les insectes — cohésion moyenne un peu durci — gros pores tubulaires.

35- 65 cm : brun grisâtre assez clair — sableux — structure nuciforme assez bien développée — cohésion faible — pores tubulaires.

65-150 cm : ocre-jaune — enrichi en argile — structure faiblement développée — taches ferrugineuses diffuses — horizon un peu colmaté — porosité faible.

150-180 cm : ocre-jaune, mais très concrétionné avec concrétions ferrugineuses et manganifères durcies et bien individualisées dans remblayage sablo-argileux.

+ de 180 cm : passage aux grès argileux du Continental Terminal.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-35	40-65	120-150	160-180
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	86
Sables grossiers	32,6	33,6	33,5	35,6
Sables fins	49,7	42,2	36,8	37,2
Limon	7,2	7,2	4,2	3,7
Argile	8,5	15,3	22,8	20,8
Matière organique	0,90	0,34	—	—
Matière organique ‰				
Carbone	5,2	2,0	—	—
Azote	0,40	0,19	—	—
C/N	13,0	10,5	—	—
Matières humiques totales	2,8	0,7	—	—
Matières humiques précipitables	1,8	—	—	—
Acidité pH	6,4	6,5	6,1	6,1
Complexe absorbant meq %				
Ca	2,2	1,8	1,6	1,4
Mg	0,7	0,6	0,9	0,9
K	0,21	0,13	0,11	0,10
Acide phosphorique total ‰	0,31	0,27	0,31	0,34
Teneurs en fer ‰				
Fer total	10,3	12,7	15,5	15,6
Fer libre	6,2	8,0	9,2	9,2
Fer libre/fer total	0,60	0,63	0,59	0,59

Les mêmes caractéristiques du profil précédent se retrouvent ici. Les variations les plus importantes concernent une quantité de fer moindre à mobilité plus faible.

2.7. — SEFA (CGOT) Casamance

Limite UC 1, UC 2.

Modelé de bas plateau.

Savane arborée à *Bombax* et *Cordyla*. Friche.

Description du profil

0- 15 cm : gris (H 41 — Code expolaire Cayeux) — sableux — structure nuciforme fine, bien développée — poreux — chevelu radiculaire abondant.

15- 30 cm : idem mais plus clair et plus brun — structure plus massive.

- 30-50 cm : H 42 — sablo-argileux — structure nuciforme bien développée — cohésion moyenne — très poreux — nombreuses racines herbacées.
- 50-103 cm : D 43 plus clair dans la partie supérieure — brun ocre sablo-argileux — structure polyédrique peu développée, assez grosse, nombreux pores surtout tubulaires — cohésion faible — lessivé.
- 103-130 cm : beige (D 54) — quelques taches gris clair — taches et concrétions ferrugineuses assez bien individualisées, peu nombreuses, peu durcies — argilo-sableux — structure polyédrique peu marquée, pseudo-sables — assez poreux.
- 130-155 cm : beige (D 52) quelques taches blanches mal délimitées, taches et concrétions ocre-rouille — argilo-sableux — polyédrique assez massif — peu poreux, tendance au colmatage.
- 155-220 cm : ocre beige (D 56), quelques taches gris clair — concrétions ferrugineuses rouges (D 38), bien individualisées mais faiblement durcies — argilo-sableux — structure polyédrique massive — cohésion forte.
- + de 220 cm : s'éclaircit (C 43) avec taches blanchâtres, nombreuses concrétions ferrugineuses rouilles (S 36) et rouges (E 26), peu durcies — argilo-sableux — structure à tendance polyédrique faible massive — peu poreux — passage au Continental Terminal.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm					
	0-15	30-50	80-100	110-130	130-155	200-220
Composition mécanique %						
Terre fine	100	100	100	98	87	72
Sables grossiers	31,3	22,3	24,1	19,5	18,6	17,0
Sables fins	50,6	41,6	40,5	33,3	34,9	35,9
Limon	4,8	3,9	3,1	8,1	5,4	8,2
Argile	9,8	17,5	29,0	37,3	37,8	37,8
Matière organique	1,33	0,54	—	—	—	—
Matière organique %						
Carbone	7,7	3,1	—	—	—	—
Azote	0,41	0,25	—	—	—	—
C/N	18,8	12,4	—	—	—	—
Matières humiques (C)	0,7	0,2	—	—	—	—
Acidité pH	6,5	6,0	5,0	5,2	4,75	4,9
Complexe absorbant meq %						
Ca	2,50	2,00	1,78	1,68	1,82	2,24
Mg	0,5	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0
K	0,11	0,04	0,13	0,13	0,15	0,13
Na	0,06	0,18	0,58	0,23	0,13	0,50
S	3,17	2,96	3,23	2,78	3,10	3,87
Acide phosphorique total %	0,40	0,30	0,37	0,40	0,41	0,37

Le modelé un peu plus accusé de l'Ouest de la Casamance provoque un concrétionnement plus profond et plus diffus en relation avec l'accumulation argileuse. D'autre part les sols amorcent un passage net vers les sols rouges.

Par contre, dans l'Est du pays l'horizon concrétionné s'individualise à moins grande profondeur vers Pata, vers Kolda, aux environs de Vélingara. Un concrétionnement plus intense et plus concentré correspond toujours à une moins grande épaisseur des profils.

Une mention spéciale doit être faite pour un sol de couleur claire, tout à fait particulier, observé en Basse Casamance, au Sud d'Oussouye. Ce sol qui se développe sur une forme récente du modelé paraît fortement lessivé et cependant, il présente toutes les caractéristiques d'un sol beige faiblement ferrallitique.

En particulier, l'appauvrissement général des horizons profonds est à mettre en opposition avec l'enrichissement des horizons superficiels par une végétation forestière semi-humide. Il est probable que la protection contre le dessèchement due à la présence de cimes jointives, le manque d'ensoleillement dans le sous-bois, amortissent les variations d'humidité du sol et favorisent des engorgements internes profonds qui amorcent un cuirassement par action de nappe phréatique.

2.8. — Forêt de OUKOUTE — Sud de Oussouye.

Topographie légèrement déprimée.

Forêt semi-humide à *Erythrophleum* et *Parinari* — forêt classée.

Description du profil

- 0- 6 cm : gris clair, humifère, sous un tapis de feuilles et de brindilles en voie de décomposition — finement sableux — structure grumeleuse fine bien développée, surtout en surface.
- 6- 55 cm : beige grisâtre — finement sableux — structure plus massive à tendance nuciforme — assez compact.
- 55-150 cm : beige rosé — sableux — pas de pseudo-sable — structure peu développée — poreux.
- 150-200 cm : idem mais ségrégation sous formes de trainées ferrugineuses rouges parfois durcies et bien délimitées — aspect d'argile tachetée — sablo-argileux — structure à tendance polyédrique assez bien développée — moins poreux.
- 200-250 cm : concrétions rouges plus nombreuses, durcies — ségrégation en taches plus claires presque blanches — ensemble jaunâtre — sablo-argileux — structure polyédrique.

Resultats analytiques

	Profondeur en cm								
	0-3	5-10	12-35	50-120	140	170	210	270	320
Composition mécanique %									
Terre fine	100	100	100	100	100	100	100	97	98
Sables grossiers	7,6	11,9	14,7	15,6	11,7	14,6	15,2	15,9	13,7
Sables fins	70,5	67,9	68,3	56,3	54,8	55,9	56,8	57,3	58,3
Limon	6,9	4,5	3,6	4,3	5,5	3,9	4,9	5,8	8,5
Argile	8,9	8,9	11,4	23,5	25,0	24,0	22,1	21,7	19,0
Matière organique	3,9	2,1	1,1	—	—	—	—	—	—
Matière organique ‰									
Carbone	22,6	12,1	6,5	—	—	—	—	—	—
Azote	1,0	0,8	0,34	—	—	—	—	—	—
C/N	22,2	15,0	19,0	—	—	—	—	—	—
Matière humique (C)	0,8	0,9	0,2	—	—	—	—	—	—
Acidité pH	5,5	5,2	4,3	4,7	4,0	3,9	4,4	4,2	3,9
Complexe absorbant meq %									
Ca	2,85	1,71	0,72	0,41	0,59	0,59	0,41	0,41	0,50
Mg	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,74	0,50	0,40	0,74
K	0,21	0,15	0,15	0,11	0,13	0,11	0,11	0,15	0,15
Na	0,18	0,06	0,10	0,06	0,29	0,38	0,25	0,52	0,58
S	4,24	2,92	1,97	1,08	1,51	1,83	1,23	1,48	1,97
Acide phosphorique total ‰	—	0,41	0,37	0,40	0,41	0,37	0,41	0,40	0,41
Perte au feu	4,8	3,3	2,1	—	4,0	3,3	3,1	3,1	3,0

3. — Sols ferrugineux lessivés à cuirasse

Ces sols concrétisent l'évolution ultime du groupe. L'individualisation et la concentration du fer et parfois aussi du manganèse sont suffisamment intenses pour provoquer la formation d'un horizon cuirassé.

Ces sols se situent sur les formes les plus anciennes du modelé, en position de cuvette mal drainée, en bordure des axes de collature et des plateaux qui sont enrichis en hydroxydes par drainage oblique. La pauvreté du matériau originel en fer et en manganèse ne peut expliquer la constitution d'horizons indurés par les seuls mouvements verticaux des solutions du sol. La répartition de ces types de sols dans un paysage donné montre l'importance des apports extérieurs (R. MAIGNIEN, 1958).

Les mécanismes qui contribuent à la mise en place de ces formations permettent de distinguer deux petits groupes :

— action d'un niveau hydrostatique temporaire :

Sols ferrugineux lessivés à cuirasse de plateau ;

— action de processus de lessivage oblique :

Sols ferrugineux lessivés à cuirasse de bas de pente.

Très séduisante, cette classification reste cependant trop académique car l'évolution des sols tropicaux lessivés oriente une morphogénèse sub-horizontale et les deux processus pédogénétiques participent de concert au cuirassement. Le premier prédomine au centre des surfaces planes, le second en bordure des entailles du relief. Le premier se caractérise principalement par une structure pisolithique, le second par une structure feuilletée. Mais les passages de l'un à l'autre de ces faciès sont fréquents. Ils sont souvent associés, parfois même superposés, le cuirassement favorisant son propre développement.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à cuirasse de plateau sont largement représentés à l'Est du Sénégal, en Moyenne et en Haute Casamance, dans la région de Tambacounda.

3.1. — GOUDIRY — Km 5 route de Tambacounda.

Modelé extrêmement plan — nombreuses petites cuvettes mal drainées — savane arborée soudanaise à sous-bois de bambous.

Description du profil

- 0- 30 cm : gris noir, assez riche en matière organique — sableux faiblement argileux — structure à tendance grumeleuse peu développée, peu stable, assez massive — chevelu radiculaire abondant dans les premiers centimètres.
- 30- 62 cm : gris blanchâtre — finement sableux — fortement lessivé — non structuré, ressemble à de la farine.
- 62- 85 cm : ocre beige avec trainées et taches rouilles ferrugineuses plus ou moins diffuses, légèrement indurées — argilo-sableux — structure nuciforme bien développée — pseudo-sables.
- 85-150 cm : horizon concrétionné de couleur ocre-rouille — nombreuses pisolithes ferrugineuses indurées, cimentées plus ou moins partiellement en cuirasse — le tout au milieu d'un matériau argilo-sableux ocre.
- + de 150 cm : passage progressif aux grès argileux du Continental Terminal, avec au sommet quelques gros noyaux indurés et ferruginisés.

Les sols ferrugineux lessivés à cuirasse de bas de pente sont également très fréquents mais ordinairement de moins grande étendue. Ils donnent naissance à la plupart des cuirasses ferrugineuses qui affleurent en bordure des décrochements de relief en formant un modelé de ressauts, en marches d'escalier, extrêmement caractéristique. Ce type de cuirassement se réalise à des profondeurs variables qui sont fonction de la mise en place de niveaux hydrostatiques, plus ou moins temporaires, parfois même de véritables nappes phréatiques permanentes.

3.2. — DAROU (Station IRHO) — date 17.1.1953

Extrémité sud de la concession.

Zone basse mal drainée où les eaux s'accumulent en saison des pluies.
Savane arborée à grandes Andropogonées.

Description du profil

- 0- 50 cm : gris noir — bien humifère — sablo-argileux — structure nuciforme bien développée, à gros agrégats — macro-

structure à tendance prismatique — pseudo-sable — cohésion moyenne — assez poreux — nombreuses racines herbacées.

50- 90 cm : gris beige assez clair — argilo-sableux — structure prismatique grossière — cohésion forte — nombreux pores tubulaires.

90-160 cm : beige clair avec nombreuses concrétions rouilles, bien délimitées, très indurées, partiellement cimentées en cuirasse — le concrétionnement se réalise surtout dans les taches plus sableuses — remblayement argilo-sableux — structure mal définie, de polyédrique à nuciforme.

+ de 160 cm : assez semblable, mais nombreuses trainées ocre-rouille assez indurées, devenant plus diffuses à la base en passant au Continental Terminal — sablo-argileux — structure polyédrique peu développée.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-20	60-80	100-120	160
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	—	100
Sables grossiers	21,3	14,6	18,4	20,8
Sables fins	61,6	49,6	54,3	57,4
Limon	8,0	3,4	2,4	7,3
Argile	9,7	31,2	24,6	16,1
Matière organique	1,3	0,4	0,2	—
Matière organique ‰				
Carbone	7,3	2,3	—	—
Azote	0,44	0,38	—	—
C/N	17,7	—	—	—
Matières humiques (C)	1,0	0,3	—	—
Acidité pH	6,6	5,5	5,3	5,2
Complexe absorbant meq %				
Ca	4,3	5,5	4,5	3,2
Mg	1,0	1,5	1,0	0,4
K	0,06	0,06	0,12	0,06
Na	0,02	0,02	0,09	0,02
S	5,4	7,2	5,7	3,7
Acide phosphorique total ‰	0,54	0,57	0,54	0,59

Le cuirassement est peu marqué dans cet exemple, mais il peut être beaucoup plus intense.

A **Kéra Modi Salla**, en zone faiblement déprimée et sous une jachère de 6 à 8 ans, à peuplement assez dense de *Combretum glutinosum* et *eliotii*, en mélange avec *Lannea macroptera*, *Cordyla africana*, *Anogeissus leiocarpus*, *Sterculia setigera*, le profil de sol ferrugineux tropical lessivé montre à

130 cm de profondeur, une cuirasse ferrugineuse de couleur brun-noir, à structure alvéolaire, fortement indurée. L'épaisseur de l'horizon dépasse 100 cm. La morphologie est typique de celle d'une action de nappe temporaire.

A **Matar Sakho**, en bordure d'une collature principale, la cuirasse ferrugineuse; brune, alvéolaire, fortement indurée, s'individualise entre 75 et 200 cm. A **Latemingue**, cette individualisation se réalise également vers 80 cm.

Mais il arrive que les processus de cuirassement s'imposent en dehors des horizons pédologiques. Le fer mobilisé dans les horizons de surface migre en profondeur jusqu'au niveau de la nappe phréatique. Il tend alors à s'immobiliser à la cote maximum atteinte par cette dernière. Il est parfois possible d'observer ainsi deux niveaux cuirassés, ou même plus, superposés et correspondant soit à plusieurs niveaux hydrostatiques ou temporaires, soit à des abaissements successifs du niveau de base. Ce cuirassement par action de nappes phréatiques diffère ainsi profondément, dans sa genèse et sa position, du cuirassement de plateau. Dans ce dernier cas, les horizons cuirassés, qui se développent sur les différentes formes du relief, sont toujours emboîtés les uns par rapport aux autres.

3.3. — GUERINA — Station d'agriculture — Basse Casamance

Bordure d'un bas-plateau bien drainé.

Savane forestière passant à la forêt xérophylite.

Description du profil

- 0- 45 cm : gris noirâtre devenant plus clair vers 30 cm, assez humifère — sablo-argileux — structure nuciforme bien développée à tendance grumeleuse en surface — légèrement durci — assez tassé.
- 45- 80 cm : beige — sableux — peu structuré à tendance nuciforme — légèrement durci — poreux par pseudo-sables.
- 80-120 cm : beige légèrement rougi avec marbrures rouilles — sableux faiblement argileux — structure polyédrique peu développée — quelques concrétions petites, durcies — brun-rouille.
- 120-160 cm : ocre beige avec taches et trainées ferrugineuses peu durcies — plus ou moins bien individualisées — quelques taches diffuses blanchâtres — sablo-argileux à argilo-sableux — structure grossièrement nuciforme à prismatique peu développée.

- 160-350 cm : faciès des grès argileux du Continental Terminal, vers le bas les taches ferrugineuses s'anastomosent en donnant de grosses concrétions assez durcies.
- 350-425 cm : niveau cuirassé, moyennement induré — structure alvéolaire aplatie — squelette ferrugineux brun-rouille cimentant des grains de quartz — alvéoles contenant des matériaux plus argileux blanc-grisâtre.
- 425-500 cm : passage brutal à un ancien niveau de nappe phréatique (puit à sec) — horizon très sableux — blanchi — soutirage au vide.
- + de 500 cm : Continental Terminal plus argileux.

Sur les périmètres CGOT à Séfa, R. FAUCK (1955) signale deux cuirasses superposées entre 11-15 mètres et 27-29 mètres. Il les interprète comme des cuirasses ferrugineuses de nappes phréatiques fossiles. "Le dépôt de ces deux cuirasses aurait eu pour cause des abaissments successifs de la nappe au quaternaire. Les niveaux de grès de 24 et 14 mètres lui auraient servi de base et de roche-mère par son enrichissement en fer."

En dehors des processus de ferruginisation qui favorisent l'individualisation du fer, ce type de cuirassement est indépendant du type de sol. On observe les mêmes mécanismes en sols rouges faiblement ferrallitiques où ils sont également liés au niveau de base de nappes phréatiques plus ou moins temporaires : Station agricole de Djibélôr — Falaise de Varéla (Guinée Portugaise).

L'érosion par l'eau qui est intense (R. FOURNIER, 1959) provoque le décapage des horizons meubles de surface. Les formations indurées sont mises à l'affleurement. Elles donnent naissance à des plateaux cuirassés (bovalisation) fréquent à l'Est du pays. Ces cuirasses ferrugineuses diffèrent profondément des cuirasses latéritiques par l'absence d'alumine libre, la présence de quartz non altéré, leur densité élevée, leur couleur sombre (brun-rouille à brun-noir). Des accumulations manganifères en taches et en concrétions arrondies les accompagnent généralement.

Si la mise à l'affleurement des cuirasses liées aux processus pédogénétiques qui individualisent les sols ferrugineux tropicaux, peut être liée à des influences anthropiques contemporaines, la mise à l'affleurement de cuirasses de nappes profondes résulte surtout de processus morphogénétiques plus anciens et plus continus. F. FOURNIER (1959) signale des pertes annuelles de terre de 0,5 à 1 cm d'épaisseur par an à Séfa. La mise à l'affleurement d'une cuirasse s'individualisant à un mètre de profondeur demande donc des actions cumulées s'étendant sur 100 à 200 ans. Pour la mise à l'affleurement de cuirasses de nappe, les durées sont de l'ordre du millénaire.

II. — LES SOLS ROUGES

Les sols rouges se caractérisent par un profil peu différencié, profond de plus de 250-300 cm, de couleur rouge uniforme et par l'absence de processus de concrétionnement et de cuirassement. Il est néanmoins possible d'observer des sols rouges gravillonnaires, mais ce sont alors des néosols sur cuirasses.

Les sols rouges ou " terres de barre " appartiennent typiquement aux **sols faiblement ferrallitiques**. Ils constituent une entité homogène. Les différenciations à l'intérieur du groupe ne portent que sur l'horizon humifère de surface, l'intensité de la couleur et certains processus d'évolution régressive vers les sols ferrugineux tropicaux en régions fortement cultivées quand la pluviométrie annuelle est inférieure à 1.100 mm.

Au contact des sols beiges, les sols rouges se situent exclusivement sur les sommets des plateaux, approximativement à la ligne de partage des eaux. Les sols beiges s'individualisent alors sur les pentes. Cette chaîne de sol bien caractérisée suggère une certaine influence du drainage sur la répartition des sols. En fait, des études plus poussées montrent qu'il s'agit essentiellement d'une question d'âge et de durée d'évolution. A la limite, les sols rouges se distribuent toujours sur des formes plus anciennes que les sols beiges. Lorsque l'on pénètre plus avant vers le SW, c'est-à-dire vers des régions plus humides, on constate que les sols rouges dominent peu à peu sur les sols beiges et finissent par envahir toutes les formes du modelé, en position de drainage normal.

1. — DAROU (Station IRHO) — Laghem — Date 17.1.1953

Sommet de plateau.

Savane arborée dense — reprise d'anciennes jachères.

Description du profil

- 0- 40 cm : gris-beige, légèrement humifère, finement sableux — structure particulière à tendance nuciforme grossière — cohésion faible — poreux.
- 40- 85 cm : beige rosé, faiblement grisâtre — passage progressif — sableux — structure nuciforme assez bien développée — pseudo-sables — cohésion moyenne — poreux.
- 85-150 cm : rouge, un peu plus argileux mais toujours sableux — structure nuciforme — pseudo-sables — cohésion plus forte — poreux.
- vers 200 cm : sur 100 cm passage aux grès argileux du Continental Terminal bariolé de taches ocres et rouilles, en trainées parfois un peu indurées.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-20	50-75	100-120	180
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	26,9	25,5	26,4	18,8
Sables fins	64,8	60,7	53,8	56,4
Limon	1,4	1,9	4,3	4,9
Argile	3,3	3,5	14,9	19,3
Matières organiques	0,55	0,20	—	—
Matières organiques ‰				
Carbone	3,2	1,2	—	—
Azote	0,21	0,15	—	—
C/N	15,2	7,8	—	—
Matières humiques (C)	0,5	0,3	—	—
Acidité pH	6,15	6,1	5,7	5,9
Complexe absorbant meq %				
Ca	0,64	1,00	1,36	2,18
Mg	0,4	0,4	0,4	0,4
K	0,15	0,15	0,15	0,17
Na	0,10	0,15	0,27	0,10
S	0,93	1,70	1,82	2,90
Acide phosphorique ‰	—	—	—	—

2. — Village de DRAME — route Keur Madiabel-Sokone

Bas plateau.

Débroussement récent — Forêt de savane à *Cordyla africana* en mélange avec *Detarium senegalense*, *Parkia biglobosa*, *Terminalia macroptera*, *Combretum glutinosum*, *Heeria insignis*, *Anona senegalensis*, etc....

Description du profil

- 0- 10 cm : gris brun, peu humifère — sableux — structure nuciforme bien développée, taille moyenne — assez poreux.
- 10- 50 cm : brun-rouge — sableux — structure moins développée, grossièrement nuciforme à tendance anguleuse — très poreux — paraît lessivé.
- 50- 85 cm : rouge — sableux — peu structuré, fondu — durci — pseudo-sables — poreux.
- 85-180 cm : rouge franc — sableux légèrement enrichi en argile — structure nuciforme un peu aplatie horizontalement, grossière, peu développée — pseudo-sables — poreux.
- + de 180 cm : Sables argileux jaune-rougeâtre (Continental Terminal).

En dehors d'une texture plus sableuse et d'un coefficient de lessivage de l'argile plus faible (# 2), la plupart des caractéristiques analytiques sont très voisines de celles des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions. La matière organique a une très grande importance sur les différents facteurs de la fertilité. Ce sol diffère cependant des précédents par sa couleur, par

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-10	10-50	50-85	150-180
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	38,6	33,3	29,2	34,3
Sables fins	55,6	58,8	61,1	53,5
Limon	1,7	1,7	1,7	1,7
Argile	4,0	4,0	5,8	8,5
Matière organique	0,74	0,33	—	—
Matière organique ‰				
Carbone	4,3	1,9	—	—
Azote	0,25	0,15	—	—
C/N	17,2	12,6	—	—
Matière humique totale	3,7	1,4	—	—
Matière humique précipitable	3,1	0,8	—	—
Acidité pH	6,2	6,0	6,0	6,0
Complexe absorbant meq %				
Ca	1,7	1,1	0,8	0,8
Mg	0,5	0,2	0,7	0,2
K	0,11	0,08	0,06	0,12
Acide phosphorique total ‰	0,31	0,20	0,22	0,25
Teneurs en fer ‰				
Fer total	6,7	8,0	9,4	13,7
Fer libre	4,5	5,5	6,4	9,9
Fer libre/fer total	0,66	0,69	0,67	0,72

un drainage interne excellent favorisé par la présence de pseudo-sables, par une meilleure résistance à l'érosion et par un pH bien tamponné avec la profondeur. Bien que la morphologie soit bien typée, ce sol marque un degré d'évolution vers les sols ferrugineux. Cette tendance est encore mieux marquée vers l'Est dans le Laghem Oriental.

3. — SEFA (Casamance)

Route de Diaroumé — 100 m. au nord du croisement route 4 UC 1.
Topographie plane (bas-plateau).

Forêt de savane à *Pterocarpus erinaceus*, *Kaya senegalensis*, *Prosopis africana*, *Daniella oliveri*.

Description du profil

0- 12 cm : Brun gris (H 32), nombreux débris charbonneux et débris de feuilles mal décomposés en surface — chevelu racinaire important — sableux faiblement argileux — structure grumeleuse assez bien développée — cohésion faible — poreux.

12- 28 cm : Brun (H 43) — sableux — structure nuciforme assez bien développée — cohésion moyenne — poreux.

28- 55 cm : Rouge (F 38), durci — sablo-argileux — structure nuciforme un peu anguleuse, grossière — pseudo-sables — cohésion forte à moyenne — poreux.

55- 90 cm : Rouge plus foncé (H 18) durci — argilo-sableux —

structure nuciforme plus anguleuse — pseudo-sables — cohésion forte — bonne porosité.

90-200 cm : Rouge (F 18) — argilo-sableux — vague ségrégation en forme de concrétions non durcies — structure peu développée de nuciforme à polyédrique.

+ de 200 cm : Passage progressif au grès argileux du Continental Terminal; taches et trainées gris blanchâtre encore peu marquées.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm							
	0-12	12-28	30-55	75-90	180-200	250-280	320-350	480-500
Composition mécanique %								
Terre fine	100	100	100	100	100	100	100	100
Sables grossiers	36,4	39,9	34,4	30,1	24,2	19,1	18,2	16,9
Sables fins	45,2	45,3	31,2	24,8	24,2	28,6	30,6	31,5
Limon	4,6	4,2	3,7	6,0	9,6	9,2	11,1	10,3
Argile	11,4	8,5	26,7	37,0	36,0	35,1	33,2	38,6
Matière organique	2,7	1,1	0,6	—	—	—	—	—
Matière organique ‰								
Carbone	15,4	6,4	3,6	—	—	—	—	—
Azote	0,82	0,42	0,19	—	—	—	—	—
C/N	18,8	15,2	—	—	—	—	—	—
Matière humique (C)	1,3	0,4	0,2	—	—	—	—	—
Acidité pH	6,3	6,25	5,02	4,8	5,05	5,0	4,9	5,0
Complexe absorbant meq %								
Ca	3,07	1,00	0,46	0,64	0,64	0,46	0,57	0,82
Mg	1,49	1,00	0,74	0,74	<0,40	<0,40	<0,40	—
K	0,15	<0,04	0,15	0,15	0,13	0,13	0,13	—
Na	0,06	<0,06	0,19	0,29	0,15	0,08	0,37	—
S	4,77	<2,10	1,54	1,82	<1,32	<1,07	<1,47	—
Acide phosphorique total ‰	0,42	0,35	0,42	0,42	0,35	0,35	0,35	0,35

Ces sols rouges sont très communs sur les plateaux entre Kolda et Sédhiou. Ils représentent la majorité des sols en forêt de Boudhié entre Sédhiou et Bignona, en forêt de Diagoun à l'Ouest de Bignona, entre Bignona et Inor, en forêt de Bissim et de Sanick au Sud de la Casamance, à l'Est de Ziguinchor, au Sud d'Oussouye. (G. AUBERT, J. DUBOIS, R. MAIGNIEN, 1946.)

Les sols rouges de Casamance sont généralement mieux typés que ceux du nord de la Gambie Britannique. Dans le Laghem oriental, beaucoup plus sec, les sols rouges présentent des marques de déséquilibre qui les rapprochent des sols ferrugineux tropicaux. La couleur s'éclaircit pendant que le lessivage de l'argile s'accuse. La porosité diminue.

4. — Village de THIARACK (Laghem oriental) — date 29.6.57

- Bas plateau faiblement vallonné.
- Zone très cultivée en arachides.

Description du profil

- 0-15 cm : beige grisâtre, peu humifère — sableux — structure faiblement développée de nuciforme fine à grumeleuse — cohésion faible — porosité moyenne.

- 15- 60 cm : brun-rouge — sableux — structure nuciforme grossière — pseudo-sables bien développés — poreux.
- 60-180 cm : rouge — légèrement enrichi en argile — pseudo-sables abondants — structure nuciforme bien développée — bonne porosité.
- + de 180 cm : plus clair — jaunâtre — argilo-gréseux passant au Continental Terminal.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-15	40-60	100-120	180
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	34,4	32,5	29,0	29,4
Sables fins	58,1	50,6	43,1	45,0
Limon	2,7	2,5	4,0	3,2
Argile	2,5	11,5	21,5	18,8
Matière organique	0,36	0,26	—	—
Matière organique ‰				
Carbone	2,1	1,5	—	—
Azote	0,16	0,16	—	—
C/N	13,1	9,4	—	—
Matières humiques totales	2,9	2,7	—	—
Matières humiques précipitables	1,1	0,8	—	—
Acidité pH	6,0	5,4	4,8	5,1
Complexe absorbant meq ‰				
Ca	0,55	0,7	0,75	0,7
Mg	0,4	0,1	0,2	0,4
K	0,08	0,06	0,06	0,06
Acide phosphorique total ‰	0,18	0,22	0,29	0,22
Teneurs en fer ‰				
Fer total	5,6	9,4	12,5	13,4
Fer libre	2,8	6,4	8,1	7,7
Fer libre/fer total	0,50	0,67	0,64	0,57

L'ensemble des résultats analytiques confirme de façon éclatante la dégradation de ce sol rouge. Les sols ferrallitiques sont typiquement des sols de forêts. Leur exploitation, par des cultures annuelles, provoque une rétrogradation de la plupart des facteurs de la fertilité : lessivage accusé de l'argile, dégradation de la matière organique, abaissement du pH, pertes en chaux, en potasse et en acide phosphorique.

L'évolution vers les sols ferrugineux tropicaux lessivés est encore plus poussée dans le profil suivant.

5. — Village de FASS

Sommet d'un bas-plateau.

Végétation dégradée à *Cordyla*, *Combretum* et *Guiera* — jachère à arachides.

Description du profil

- 0- 25 cm : gris beige foncé — sableux — structure faiblement développée, de nuciforme à grumeleuse — légèrement durci — peu poreux.
- 25- 55 cm : ocre légèrement marbré de trainées plus sombres — sableux — structure grossièrement nuciforme — durci — cohésion forte — moyennement poreux par gros pores tubulaires.
- 55- 95 cm : ocre plus foncé — sableux légèrement enrichi en argile — structure peu développée de nuciforme à polyédrique — pseudo-sables — cohésion moyenne — poreux.
- 95-165 cm : ocre beige faiblement rougi — sablo-argileux — structure moyennement développée à tendance polyédrique grossière — moins de pseudo-sables — cohésion faible à moyenne — moins poreux.
- + de 165 cm : Continental Terminal argilo-gréseux.

Résultats analytiques

	Profondeur en cm			
	0-25	35-55	75-95	140-160
Composition mécanique %				
Terre fine	100	100	100	100
Sables grossiers	17,5	22,0	22,0	24,0
Sables fins	74,2	66,1	59,7	55,0
Limon	2,7	1,5	2,5	2,5
Argile	4,8	9,0	14,3	15,8
Matière organique	0,6	0,2	—	—
Matière organique ‰				
Carbone	3,3	1,1	—	—
Azote	0,22	0,10	—	—
C/N	15,0	11,0	—	—
Matières humiques totales	2,3	1,4	—	—
Matières humiques précipitables	1,1	—	—	—
Acidité pH	6,0	6,0	5,4	5,3
Complexe absorbant meq %				
Ca	1,3	0,8	0,8	1,0
Mg	0,6	0,7	0,7	0,9
K	0,14	0,08	0,10	0,08
Acide phosphorique total ‰	0,18	—	0,27	0,31
Teneurs en fer ‰				
Fer total	9,0	10,4	10,5	9,5
Fer libre	3,8	4,0	4,6	4,7
Fer libre/fer total	0,42	0,38	0,43	0,49

L'évolution se marque ici sur une tendance à l'immobilisation du fer plus marquée.

Au nord de la Gambie, les données morphologiques et analytiques des sols rouges indiquent une évolution caractérisée vers les sols ferrugineux

tropicaux confirmant leur instabilité climatique par rapport aux facteurs pédogénétiques contemporains plus arides. Ils sont récurrents d'une période passée un peu plus humide (R. MAIGNIEN, 1960). En aucun cas, cette dégradation, qu'elle soit due à un changement dans le climat ou à une utilisation anarchique du sol, ne provoque de concrétionnement ferrugineux. Il est cependant possible d'observer des sols rouges cuirassés. Mais en dehors de lithosols formés sur des cuirasses affleurantes, il s'agit ordinairement de cuirasses qui s'imposent à plus ou moins grande profondeur au niveau de la nappe phréatique. Ce cuirassement n'est donc pas lié à des processus pédogénétiques spécifiques des sols rouges faiblement ferrallitiques. La nature du matériau dans lequel le cuirassement s'individualise (ici faiblement ferrallitique) fait que ces cuirasses ont parfois la composition de cuirasses ferrallitiques bien qu'en fait leur mise en place n'ait pas été arrêtée par des phénomènes de ferrallisation. Les caractéristiques ferrallitiques sont résiduelles, alors que le cuirassement est du type absolu (J. D'HOORE, 1954).

III. — DISCUSSION ET CRITIQUE DES RESULTATS

La comparaison des données morphologiques et analytiques des sols beiges et des sols rouges fait apparaître des caractères communs et différentiels. La critique de ces résultats doit permettre de préciser les limites qui séparent ces types de sols.

1. — Morphologie

1.1. — Epaisseur des profils

Les sols rouges sont beaucoup plus épais que les sols beiges. Les premiers ont un profil de plus de 250 à 300 cm; les seconds ont une épaisseur qui varie de 150 à 175 cm.

1.2. — Couleur du profil

La couleur des profils est une des caractéristiques de différenciation la plus apparente. Les sols beiges sont toujours beaucoup plus clairs que les sols rouges. Les dominantes se situent dans les 10 et 7/5 YR du code Munsell pour les sols beiges. Pour les sols rouges elles se situent entre 2,5 et 5 YR.

1.3. — Différenciation du profil

Les sols beiges se caractérisent par un profil bien développé à horizons tranchés avec un A et un B textural argileux. Les sols rouges ont un profil peu différencié. L'horizon humifère passe progressivement à des horizons rouges de plus en plus marqués. Les variations de texture entre la surface et la profondeur résultent essentiellement d'un remaniement superficiel

consécutif à des processus d'érosion. Il n'y a pas de B textural, mais parfois un (B) structural.

1.4. — Mouvements du fer

Les sols beiges montrent une tendance au concrétionnement et au cuirassement extrêmement prononcé. Ils sont fréquemment colmatés. Les sols rouges sont toujours plus meubles et plus poreux. Le fer se distribue à travers tout le profil et contribue à la formation de pseudo-sables. Il n'y a tendance ni au concrétionnement, ni au cuirassement.

2. — Caractéristiques analytiques

2.1. — Texture

La texture des sols beiges et rouges est en relation avec la nature du matériau originel qui est un grès argileux plus ou moins cohérent. Les sables quartzeux ont une granulométrie comprise pour 90% entre 60 et 350 microns : 2% restant sur le tamis de 1 mm et 0% sur le tamis de 2 mm. Environ 70% entrent dans la classe des sables fins (20-200 μ). Le tamisage révèle deux maxima accusés — l'un vers 110 et l'autre vers 250 (R. FAUCK, 1955). Les premiers correspondent à des petits grains anguleux ; les seconds sont arrondis, fissurés et souvent corrodés (P. MICHEL, 1960). Ces grains sont recouverts ou non d'une pellicule ferrugineuse.

Les teneurs en limon (2-20 μ) sont toujours faibles (moins de 5%). La fraction argileuse varie assez fortement de quelques % à près de 40%. L'argile est constituée presque uniquement de kaolinite.

Les sols sont tous très sableux en surface. En profondeur les teneurs en argile augmentent notablement. Mais il y a des différences sensibles entre sols beiges et sols rouges.

— Les sols beiges ont des teneurs en argile qui varient de 3 à 10% en surface (0-25 cm). Au nord de la Gambie les sols sont plus sableux (3% en moyenne) qu'en Casamance (moyenne 11%). Ces différences résultent d'un ensablement ancien (pré Ouldjien) qui a intéressé le NW du Sénégal.

Les taux d'argiles augmentent **brusquement** vers 80 cm en moyenne. L'augmentation à moindre profondeur signale ordinairement un profil tronqué. Cet accroissement est dû à une accumulation qui suit un lessivage des horizons de surface.

L'illuviation se réalise sur 40-80 cm d'épaisseur. Le degré de lessivage varie de 2,5 à 5 avec une moyenne se situant vers 3,8.

— Les sols rouges sont également très sableux en surface, mais en moyenne, et pour des valeurs plus dispersées, à un degré moindre que les sols beiges. R. FAUCK (1955) signale une teneur moyenne de 12,5% d'argile dans les horizons de surface. Les sols rouges au nord de la Gambie, comme les sols beiges, sont plus sableux. On constate également une augmentation des teneurs en argile avec la profondeur. Cette augmentation se produit **progressivement** entre 40 et 100 cm. Les taux d'augmentation sont en

moyenne égale à 2, avec exceptionnellement des valeurs approchant de 3. On n'observe pas l'individualisation d'un véritable horizon d'accumulation. Les teneurs en argile augmentent progressivement jusqu'à celles des grès argileux du Continental Terminal. L'allègement de la texture en surface résulte en partie d'un remaniement superficiel lors de l'évolution du modelé. L'aplanissement général favorise l'entraînement des matériaux fins facilement dispersables. Ceci est valable aussi bien pour les sols rouges que pour les sols beiges, mais ces derniers sont en plus lessivés. Cependant, il est utile de rappeler que les sols rouges se situent toujours en position de modelé plus accusé (crêtes — hauts de plateaux) que les sols beiges. Dans l'un et l'autre cas, **on n'observe pas** en profondeur de revêtements argileux.

2.2. — Structure

Les différences de structures entre sols beiges et sols rouges sont assez sensibles.

En milieu naturel, sous quelques débris organiques qui sont généralement la proie des termites et du feu, les sols beiges présentent une surface grise, lissée, presque glacée qui croule facilement. Au contraire, les sols rouges montrent un passage, peut-être rapide, mais où la matière organique plus abondante est mieux liée à l'horizon humifère sous-jacent. Il en résulte que la surface est généralement grumeleuse.

L'horizon humifère en sols ferrugineux lessivés est de couleur grise (gris clair à gris noir). Il est massif, à vague tendance grumeleuse. La cohésion est moyenne à forte ; la porosité est bonne mais due principalement à l'activité biologique (canalicules, nids, etc...). En sols rouges, cet horizon est de couleur brune. La structure est finement grumeleuse, l'horizon est plus friable. Le chevelu racinaire est bien réparti dans la masse. L'ensemble est bien poreux par suite de l'assemblage des agrégats.

Les sols beiges ont une stabilité structurale très faible et toujours plus faible que celle des sols rouges. Dans les deux cas, la mise en culture provoque une dégradation rapide de la structure qui devient particulière. Mais alors que les précipitations tendent à colmater les sols beiges en surface, les sols rouges restent toujours mieux drainés. Cependant, les conditions climatiques sont telles que le nivellement est presque aussi intense en sols rouges qu'en sols beiges.

En profondeur, les différences structurales sont aussi bien marquées. Les sols beiges montrent une structure nuciforme typique, avec tendance polyédrique grossière lorsque les teneurs en argile augmentent. La cohésion est généralement forte et la porosité faible au niveau de l'accumulation argileuse. Ces horizons sont souvent colmatés en saison des pluies. Les sols rouges se caractérisent par la présence de **pseudo-sables**, c'est-à-dire de pseudo-agrégats cimentés par des sesquioxides de fer. Les horizons sont poreux. La stabilité structurale est moyenne. Le drainage interne meilleur qu'en sols beiges.

L'ensemble des caractères structuraux et texturaux influe la pénétration des racines. Les sols beiges sont prospectés par tranches successives, les sols rouges sont pénétrés de façon beaucoup plus homogène. Ils conviennent mieux aux plantes à pivot (tecks).

2.3. — Matière organique

L'horizon de matière organique diffère assez nettement suivant que l'on étudie un sol beige ou un sol rouge.

— Les sols beiges ont un horizon de surface gris noir, assez clair en sec, presque noir en humide. Cet horizon a une puissance de 25 à 40 cm, les valeurs moyennes avoisinent 30 cm. Il contient peu de débris organiques. Par contre, on observe des quantités assez importantes de cendres et de charbon de bois, non seulement en surface, mais mélangés à la masse même de l'horizon. La matière organique décomposée est fine et intimement liée aux colloïdes minéraux. Son rôle sur la structure est faible. Sauf en surface où la structure est grossièrement grumeleuse, l'horizon organique est massif et la structure peu développée. Par contre, l'horizon est poreux (nombreux canalicules) et la densité apparente faible. Mais l'affinité de cette matière organique vis à vis de l'eau est faible. Les sols mouillent difficilement. La matière organique joue essentiellement un rôle de ciment, probablement en liaison avec le fer. La cohésion est moyenne (résiste à l'écrasement entre les doigts).

Du point de vue chimique, la matière organique est riche en carbone et pauvre en azote. Le rapport C/N est toujours supérieur à 14, généralement plus proche de 17 en milieu naturel. Les teneurs sont de l'ordre de 1%. Le degré d'humification est faible = 10%. La mise en culture abaisse rapidement les teneurs en matières organiques totales sans que les teneurs en matières humiques paraissent touchées. Il en résulte une augmentation sensible du degré d'humification qui, sous cultures, se situe entre 20 et 50%. En surface, il y a surtout des acides humiques précipitables. Par contre les acides fulviques augmentent avec la profondeur.

Ces données sont en relation avec le type d'activité biologique. Celle-ci se caractérise par une nitrification forte, un taux de saccharase et d'uréase faible, un dégagement de gaz carbonique également faible. Il en résulte une minéralisation extrêmement rapide des produits organiques facilement décomposables, qui donne une fertilité spontanée élevée. Les réserves étant faibles, les sols se dégradent rapidement (Y. DOMMERGUES, 1960). Les matériaux à grosses molécules et à lignite en particulier, fournissent des produits résiduels et généralement peu colorés qui sont les principaux agents du lessivage et cela d'autant plus intensément que les pluies cumulées sont plus concentrées (R. MAIGNIEN, 1959).

L'évolution de la matière organique suit le rythme des saisons. En période sèche, les débris organiques sont la proie des termites et des feux. Cependant, il semble que l'activité microbienne débute à de très

faibles humidités, humidités inférieures aux points de flétrissement (Y. DOMMERGUES, 1960). Il en résulte des phénomènes de minéralisation qui débordent largement la saison des pluies. Lorsque celle-ci débute, le stock organique à décomposer est faible. La minéralisation domine. Avec les précipitations, les teneurs en matière organique à décomposer augmentent, en même temps que les processus d'anaérobiose et de réduction se développent. Le sol devient plus acide et l'abaissement du pH peut dépasser une unité en sols sableux. En Casamance où les sols sont plus argileux et plus tamponnés, les variations annuelles sont de l'ordre de quelques dixièmes d'unité pH. L'ensemble de ces mécanismes oriente la mobilisation des sesquioxides et le lessivage de l'argile.

— Les sols rouges ont un horizon de surface brun-foncé. Après débroussement et mise en culture (mil, arachide) la couleur vire rapidement vers le gris-noir semblable à celle des sols ferrugineux tropicaux lessivés. L'épaisseur de l'horizon organique est beaucoup moins importante que chez ces derniers (15 à 20 cm). Sous végétation naturelle, on observe généralement une litière organique peu épaisse (2-3 cm) qui est le siège d'une activité biologique intense. Entre cette litière et la surface du sol s'étale un chevelu racinaire assez dense. L'activité des termites sur la litière paraît moins marquée qu'en sols ferrugineux tropicaux. La matière organique décomposée se mêle intimement aux matériaux minéraux en donnant une structure finement grumeleuse, bien développée. L'ensemble de l'horizon est friable et poreux ; la cohésion est faible à moyenne.

Du point de vue chimique, les teneurs en matières organiques totales sont toujours plus fortes qu'en sols beiges (2 à 3 %). Par contre, les teneurs

Caractéristiques biologiques des sols rouges faiblement ferrallitiques
(Y. Dommergues, 1960)

	Forêt de Djibelor		Forêt de Bignona
	Parcelle intacte E 1 à E 9	Parcelle défrichée E 2 à E 10	Forêt hétérogène R 9-R 8
Cycle du carbone			
Densité de germes cellulolytiques	3.210	1.220	1.700
Saccharase	646	391	676
Dégagement de CO ₂ mgr/100 gr sol	59,2	95,6	79
Carbone total ‰	14,7	13,8	12,5
Coefficient de minéralisation du carbone	1,1	2,0	1,7
Cycle de l'azote			
Densité des azotobacter chroococcum	—	—	30
Densité des Bactéries nitréuses	40	70	660
Azote minéral mgr/100 gr sol	1,9	2,9	—
Azote minéral + Azote minéralisable mgr/100 gr sol	4,7	6,1	4,5
Azote total ‰	0,9	1,0	0,7
Coefficient de minéralisation de l'azote	5,3	6,4	7,6
Acidité pH	5,7	5,8	5,7

en carbone sont fortes et celles en azote faibles, d'où près de la surface un rapport C/N élevé variant de 15 à 18. Mais ce rapport s'abaisse rapidement avec la profondeur, en même temps que l'horizon s'éclaircit. Le degré d'humification faible en milieu naturel (5 %), s'élève rapidement sous cultures annuelles (50 %). Les teneurs en acides fulviques sont relativement plus fortes qu'en sols ferrugineux. Elles sont toujours supérieures aux teneurs en acides humiques précipitables. Les produits de la décomposition organique beaucoup moins colorés qu'en sols beiges ont un rôle limité sur le lessivage des sesquioxydes de fer.

La densité de germes cellulolytiques est forte ; elle s'abaisse avec la mise en culture. Les teneurs en saccharase, fortes en milieu naturel, deviennent moyennes après défrichement. Le dégagement de CO_2 est moyen. La mise en culture augmente fortement le phénomène. Le coefficient de minéralisation du carbone qui est moyen, devient élevé après débroussement.

L'étude du cycle de l'azote fait apparaître les données suivantes. La densité d'*Azotobacter chroococcum* est nulle à très faible. Il en est de même pour les bactéries nitrifiantes. Mais ces dernières augmentent avec la mise en culture. Les teneurs en azote minérale + azote minéralisable sont très élevées. Il en est de même pour le coefficient de minéralisation de l'azote. Le défrichement augmente sensiblement ces valeurs.

En résumé, les sols rouges présentent les caractéristiques de sols forestiers à nitrification peu intense à nulle. Ils s'opposent aux sols beiges qui nitrifient intensément, mais sont caractérisés par un taux d'uréase et de saccharase, ainsi que par un dégagement de CO_2 nettement plus faible. Le défrichement et la mise en culture des sols rouges sénégalais orientent leur biologie vers celle des sols ferrugineux tropicaux lessivés. Ce sont des sols fragiles qui se dégradent rapidement.

2.4. — Acidité pH

Du point de vue statistique, il y a peu de différences de pH entre les horizons superficiels des sols beiges et des sols rouges. En Casamance, le pH moyen est de l'ordre de 6,4. Il semble cependant, en milieu naturel, que les sols rouges ont un pH légèrement supérieur de 2/10 à 3/10 d'unité à celui des sols beiges.

Par contre, les différences avec la profondeur sont plus sensibles. Les horizons profonds des sols rouges sont toujours plus acides que ceux des sols beiges, parfois de plus d'une unité pH. Ces variations paraissent liées principalement à l'action de la végétation. Les apports organiques, en sols rouges, plus importants qu'en sols beiges, contribuent à remonter le pH en surface et accusent les différences avec les horizons profonds.

2.5. — Complexe absorbant

En valeur absolue, les sols rouges sont toujours mieux pourvus en bases que les sols ferrugineux voisins, cela dans les horizons de surface.

Cette remarque est également valable pour les réserves minérales. En Casamance les valeurs moyennes sont les suivantes (R. FAUCK, 1955):

Eléments échangeables		Sols beiges	Sols rouges
meq %			
Ca		1,1 à 3,9	2 à 3
Mg		0,5 à 1,95	1,25 à 1,5
K		0,08 à 0,46	0,10 à 0,12
Na		0,06 à 0,08	0,09 à 0,11
S		1,8 à 5,4	3,44 à 4,73
Réserves minérales			
meq %			
Ca		6 à 8	8 à 14
Mg		2 à 3	2 à 7
K		0,5 à 0,7	0,6 à 1,2
Na		1,2 à 1,3	1,3 à 3,5

Au nord de la Gambie, les sols plus sableux sont également plus pauvres. On constate, ici encore, l'action extrêmement nette des apports organiques dans les horizons de surface.

Les variations avec la profondeur signalent un appauvrissement plus prononcé en sols rouges qu'en sols beiges. Ceci résulte principalement d'une légère accumulation en B en sols ferrugineux tropicaux lessives, en liaison avec l'illuviation argileuse. S est souvent inférieur à 2-3 meq %.

Le degré de saturation du complexe absorbant donne des valeurs extrêmement fortes de l'ordre de 70 à 90% pour les horizons profonds. En surface, V est souvent proche de 100. L'acidité est donc essentiellement organique. En profondeur les valeurs de V restent élevées ou toujours plus fortes en sols beiges qu'en sols rouges.

2.6. — Teneurs en fer

En valeurs absolues les données analytiques font apparaître des teneurs en fer total assez faibles de l'ordre de 0,5 à 4%. Ces valeurs sont à rapprocher de la nature du matériau originel. Les sols rouges sont plus riches (2,4 à 4%) que les sols beiges (1,6 à 4%). En sols beiges, le fer libre représente 50 à 60% du fer total. En sols rouges les chiffres sont plus étalés, 40 à 70%. Mais alors qu'en sols ferrugineux le rapport fer libre/fer total diminue légèrement avec la profondeur, en sols rouges ce rapport augmente sensiblement pour atteindre dans certains cas 90%. Les tendances à l'immobilisation sont donc plus marquées en sols ferrugineux tropicaux.

Mais plus que sur les pourcentages, les différences portent sur les liaisons du fer avec les argiles (Kaolinite). En sols beiges le fer est peu lié aux argiles, il se mobilise et se lessive avec facilité amenant une tendance au concrétionnement et au cuirassement en profondeur. En sols rouges le fer paraît beaucoup moins labile. Il se répartit de façon homogène, en saturant peu à peu les surfaces de la kaolinite. Il y a formation de complexes ordonnés. Comme les surfaces des argiles sont élevées par rapport aux teneurs en fer, le concrétionnement ne se réalise pas (FRIPIAT-D'HOORE,

1954). L'immobilisation, peu marquée, se concrétise surtout par la formation de pseudo-sables. Ces effets de surface semblent donc représenter une des caractéristiques essentielle de différenciation entre les sols beiges et les sols rouges. Ce problème est peu connu. Il mérite d'être approfondi.

2.7. — Caractéristiques minéralogiques des produits d'altération et de néosynthèse

La comparaison des deux types de sols ne fait apparaître aucune différence. Dans les deux cas il y a un mélange de quartz, de kaolinite et de sesquioxydes de fer, tous matériaux extrêmement stables en milieu tropical. On ne constate aucune différence dans la composition minéralogique du matériau originel et des sols. Les teneurs en alumine sont proportionnelles aux teneurs en argile. Il est difficile de mettre en évidence de l'alumine libre. Le critère d'altération $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ ne peut être utilisé car le matériau originel est en équilibre climacique avec les facteurs de la pédogénèse.

En conclusion, les critères de discrimination entre sols beiges et sols rouges sont les suivants :

- caractérisation générale des profils,
- couleur,
- évolution biologique de la matière organique,
- liaison fer/argile.

Les sols beiges se caractérisent par une évolution biologique spécifique qui favorise le lessivage des argiles et des sesquioxydes de fer. Ces processus amènent, en profondeur, la formation d'un horizon qui se colmate au fur et à mesure de son individualisation. Ce colmatage accuse des phénomènes d'hydromorphie en surface et, par suite, la mobilisation du fer qui tend à former un horizon d'abord concrétionné, puis cuirassé, immédiatement sous l'horizon d'illuviation argileuse. Le cuirassement est donc typiquement lié à l'évolution même du sol. Les horizons sont de couleur claire.

Les sols rouges sont toujours beaucoup plus poreux. Les conditions hydriques et thermiques du sol sont beaucoup mieux tamponnées qu'en sol beige, ceci étant lié surtout à l'action protectrice de la végétation à cimes jointives. On n'observe pratiquement pas d'horizon engorgé pendant la saison des pluies. L'activité biologique oriente une évolution des sols ferrallitiques. Elle contribue surtout à enrichir les horizons de surface en cations. Les produits de décomposition ont un rôle réduit sur le lessivage de l'argile et du fer. Ce dernier se distribue de façon homogène à la surface des argiles. Il en résulte une couleur rouge bien répartie à travers les profils. La différenciation en horizons est peu marquée.

En conclusion les sols beiges correspondent aux **savanes climaciques**

où, à l'action de la végétation herbacée (accumulation organique), se superposent les actions de la végétation ligneuse (lessivage) (R. MAIGNIEN, 1958). Les sols rouges sont typiquement des **sols forestiers**.

IV. — DEFINITIONS ET CLASSIFICATION

Les sols beiges et rouges des régions SW du Sénégal sont à classer dans deux catégories de sols qui dominent la pédogénèse des régions intertropicales : les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques.

G. AUBERT associait ces sols aux sols rouges méditerranéens dans une même classe : les sols à humus doux et à hydroxydes individualisés.

Un certain nombre de considérations développées plus loin m'amènent, tout en conservant la même association, à en donner la définition suivante :

— Sols à forte individualisation de sesquioxydes et à matière organique rapidement décomposée.

Le groupement proposé se justifie pleinement car il s'appuie sur des caractéristiques générales qui définissent les sols des régions chaudes du globe.

1. La forte individualisation de sesquioxydes est une donnée commune à l'ensemble des sols considérés. Le concept d'individualisation est considéré en valeur relative (par exemple : teneurs en fer libre/teneurs en fer total). Si l'on s'appuie sur des teneurs absolues, il n'est plus valable, car il est fréquent que les sols se développent sur un matériau originel pauvre ou fortement appauvri en ces éléments. L'individualisation des sesquioxydes doit alors être comprise à l'échelle géographique, le bilan intégrant, non seulement les valeurs spécifiques de chaque sol, mais aussi les tendances à l'immobilisation (concrétionnement, cuirassement) qui se manifestent dans un paysage. Par sesquioxydes sont entendues les différentes formes oxydées du fer, de l'alumine et aussi du manganèse.

2. La notion "sols à matière organique rapidement décomposée" complète le premier critère. Je la préfère à celle de "sols à humus doux" car cette dernière définition suppose des données que nous connaissons mal et, en tout état de cause, la matière organique des sols ferrugineux tropicaux présente des caractéristiques biologiques trop différentes de celles des sols ferrallitiques pour les classer sous une même rubrique.

Dans tous ces sols, les teneurs en humus précipitables ou non, sont généralement faibles et le rôle acidifiant de ces matériaux est sans rapport avec les propriétés d'un humus doux. Par contre, dans l'un ou l'autre cas, on observe une minéralisation rapide de la matière organique : que l'on compare pour cela les 2 à 10 tonnes/ha de débris organiques apportées annuellement par la végétation aux teneurs retrouvées dans les horizons de surfaces, peu épais, des sols tropicaux (au maximum 2 à 3 % sur 30 cm).

Les produits individualisés (CO_2 et NH_3) sont éliminés rapidement dans l'atmosphère et les eaux de drainage.

En précisant " matière organique rapidement décomposée " la vitesse d'évolution est mise en valeur. On l'oppose ainsi au ralentissement observé en milieu hydromorphe ou mal drainé.

Sols beiges et sols rouges se situent toujours en position de drainage externe normal. Cependant, l'évolution pédogénétique peut modifier les conditions du drainage interne. Ainsi par exemple, la formation d'un horizon d'illuviation argileux en sols ferrugineux tropicaux lessivés ralentit la percolation des solutions du sol et provoque secondairement la formation de caractéristiques de milieux hydromorphes (matière organique à rapport C/N supérieur à 14, concrétionnement etc...). Or très souvent, ces critères ont été interprétés au niveau de la classe, alors qu'ils ne doivent apparaître qu'à un niveau de hiérarchisation beaucoup plus bas. Ainsi, certains sols faiblement ferrallitiques érodés, présentant des phénomènes d'engorgement superficiels qui favorisent le concrétionnement du fer ont été parfois assimilés improprement à des sols ferrugineux.

Ceci amène à introduire les critères qui définissent les niveaux inférieurs de la classification. Pour cela il faut considérer les sols dans leur profil et à ce point de vue les sols beiges se différencient profondément des sols rouges.

Les premiers appartiennent à la sous-classe des **sols ferrugineux tropicaux** qui se définit par une tendance prononcée à l'individualisation du fer et du manganèse ; les oxydes individualisés se trouvent sous des formes peu liées et montrant une capacité marquée à se redistribuer à l'intérieur des profils.

Le S.P.I. (1961) en donne la définition suivante :

" Groupe de sols, à profil ABC, dont certains ont un horizon A_2 et B textural, et présentant alors une structure à tendance nuciforme. On observe fréquemment une large individualisation des oxydes de fer libre, ce qui facilite leur lixiviation hors des profils, ou leur précipitation dans le profil sous forme de tâches ou de concrétions. Leur réserve minérale altérable est souvent appréciable. Le rapport limon/argile (20/2 microns) déterminé par dispersion, sédimentation et séparation de la suspension surnageant répétées, est généralement supérieur à 0,15. Leur argile est en majeure partie kaolinitique mais contient souvent de petites quantités d'argiles à réseau 2:1. La gibbsite est généralement absente. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, proche de 2, dépasse généralement cette valeur, tandis que le rapport $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ est toujours inférieur à 2. La capacité d'échange cationique du complexe minéral est faible mais supérieure à celle des ' Ferrisols ' et autres sols ferrallitiques aux teneurs en argile (granulométrique) comparables. Le taux de saturation dans les horizons B est généralement supérieur à 40% (acétate d'ammonium N pH 7)."

Ils pourraient être assimilés aux ordres des Alfisols (ustalf) et Oxisols (idox) de la 7^e Approximation USDA.

Les sols beiges sénégalais s'intègrent, à peu de chose près, dans cette définition. Une seule donnée diffère : ils ne possèdent pas de réserves minérales appréciables. Mais ceci découle de la nature même du matériau originel constitué de quartz, de kaolinite, d'oxydes de fer. Cependant la présence, côté à côté, de grains de quartz émoussés et corrodés (produits résiduels d'origine ferrallitique) et de grains hyalins anguleux, plus petits, provenant de la désagrégation mécanique des premiers et où l'on n'observe pas de traces d'altération sur les cassures, oppose ce milieu ferrugineux au milieu ferrallitique.

* * *

Les sols beiges ne représentent qu'un groupe à l'intérieur des sols ferrugineux tropicaux. La classification française les distingue d'après le degré de lessivage de l'argile. Les sols ferrugineux tropicaux comprennent ainsi :

1. **Les sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés** divisés en deux sous-groupes suivant le degré d'individualisation du profil :

- A (B) C sols ocres ;
- A B C sols " dior " dans une acception sableuse.

Ils appartiennent à un groupe écologiquement plus sec que les suivants et se développent dans l'Ouest Africain jusqu'à l'isohyète 500 mm.

2. **Les sols ferrugineux tropicaux lessivés** montrent une éluviation argileuse marquée en surface, suivie d'une accumulation en profondeur. Ici se groupent les sols beiges. L'illuviation argileuse provoque la formation d'un horizon plus ou moins colmaté qui influe profondément sur la distribution et l'immobilisation du fer et du manganèse. Suivant l'intensité de ce phénomène, on distingue trois sous-groupes :

- les sols sans concrétion ;
- les sols avec concrétions ;
- les sols à cuirasse.

Les sols beiges marquent ainsi l'évolution extrême des sols ferrugineux tropicaux vers les sols ferrallitiques. A la limite, la discrimination entre ces deux sous-classes porte, pour les sols ferrugineux, sur les tendances au concrétionnement et au cuirassement, en liaison avec l'évolution de l'horizon profond d'accumulation argileuse. La présence de ce dernier est **obligatoire**. Des concrétions ou des taches ferrugineuses ne sont pas suffisantes pour définir les sols ferrugineux tropicaux, ces caractéristiques ayant une origine beaucoup plus large (hydromorphie, lessivage oblique, etc....) (MAIGNIEN, R., 1958).

Les sols rouges sénégalais sont typiquement des **sols ferrallitiques**, à savoir des sols profondément et très fortement altérés, caractérisés par leur richesse en oxydes métalliques, y compris ceux d'aluminium, dans un milieu

permettant une bonne décomposition et même souvent une décomposition très rapide de la matière organique (AUBERT, G., 1958). Les caractéristiques générales sont les suivantes :

- la fraction argileuse de ces sols est constituée de kaolinite, mêlée d'hydroxydes métalliques, en particulier de fer et d'aluminium. Elle contient parfois de faibles quantités d'autres minéraux argileux et plus spécialement d'illite.
- leur rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est inférieur à 2.
- ils peuvent comporter des concrétions et des horizons indurés, mais ils sont pauvres en limon ($2-20\mu$).
- ils présentent souvent une grande friabilité en profondeur.
- leur capacité d'échange rapportée à l'argile est faible à très faible, de même que leur degré de saturation en bases et leurs réserves minérales.
- ils se forment essentiellement en régions tropicales humides et équatoriales.

Les sols rouges sénégalais diffèrent de cette définition par l'absence de concrétionnement mais ce critère n'est pas impératif. Ils se classent, plus spécifiquement, dans le groupe des **sols faiblement ferrallitiques**. La notion de faible ferrallitisation est importante à préciser, car elle ne correspond pas aux critères retenus dans la classification SPI (1961) et celle des sols du Congo Belge (SYS, 1959). Ce problème pose de nombreuses difficultés, confirmées par les mises au point qui se multiplient.

L'Ecole française distingue trois groupes de sols ferrallitiques :

- les sols faiblement ferrallitiques qui contiennent une faible proportion d'éléments ferrallitisés. Ce sont des sols relativement peu profonds (3 à 6 mètres) qui se développent surtout sur des roches pauvres en bases;
- les sols ferrallitiques typiques qui correspondent au concept central de la définition générale;
- les sols ferrallitiques lessivés dans lesquels l'altération et le lessivage sont poussés à l'extrême.

Cette classification est donc basée sur l'intensité d'un type d'altération et sur l'exportation plus ou moins poussée des éléments solubilisés. Or la grande épaisseur des profils ne permet pas toujours une étude correcte de ces processus, et cette étude n'est applicable que s'il est possible de comparer les minéraux primaires à leurs produits d'altération. Sur roches sédimentaires le problème reste entier, surtout lorsque les minéraux constitutifs ont été formés sous des conditions de ferrallitisation, ce qui est le cas des sédiments du Continental Terminal Sénégalais. D'autre part la notion d'intensité d'altération est souvent masquée par la notion de durée d'altération. C'est ainsi que pour des intensités semblables, les sols formés sur les surfaces anciennes du modelé paraissent souvent plus

ferrallitisés que ceux formés sur les surfaces récentes ; en particulier, les profils sont plus profonds. Cependant ces difficultés peuvent être tournées en s'appuyant sur d'autres caractéristiques des profils qui, génétiquement, même si elles sont moins étudiées que celles de l'altération, ont une importance au moins équivalente : individualisation des profils, couleur, lessivage etc.

Les sols rouges sénégalais peuvent être regroupés dans la catégorie des sols ferrallitiques (*sensu stricto*) de la légende de la carte SPI au 1/5.000.000. Ces derniers se définissent comme suit :

“Sols dont les horizons sont peu différenciés avec des transitions diffuses ou graduelles, parfois avec un A₂ ou un B textural. Cet horizon B peut être légèrement structuré dans les profils plus argileux, mais les agrégats ne présentent pas les surfaces brillantes bien développées décrites pour les Ferrisols.

Les éléments structuraux sont souvent très finement granuleux, plus ou moins cohérents et forment une masse poreuse très friable.

La réserve minérale altérable est faible ou inexistante, le rapport limon/argile (20/2 microns) (voir sols ferrugineux tropicaux) dans les horizons B et C est, en général, inférieur à 0,25 et les minéraux argileux, tous du type 1 : 1, sont le plus souvent associés à des quantités importantes d'oxydes de fer. Quoiqu'ils contiennent généralement des oxydes hydratés d'alumine, la présence de gibbsite est fréquente, mais pas essentielle. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est parfois voisin, mais généralement inférieur à 2. La capacité d'échange cationique de la fraction argileuse (granulométrique) est généralement inférieure à 20 m éq/100 g et le taux de saturation dans les horizons A et B est généralement inférieur à 40% (acétate d'ammonium N, pH 7).”

Par ces caractéristiques, les sols rouges sénégalais se séparent nettement des “ferrisols” de la classification des sols du Congo Belge (SYS, 1959) et de la légende SPI (1961). En particulier, on n'observe pas de revêtements brillants sur les agrégats et les réserves minérales sont faibles. Dans le concept de SYS, ce serait donc des “ferralsols”. Il n'est donc pas possible, comme cela a souvent été tenté, d'assimiler les sols faiblement ferrallitiques aux ferrisols. Ceci est très important à préciser car dans la classification française les sols rouges sénégalais sont des sols faiblement ferrallitiques et donc se placent aux premiers stades de la ferrallitisation, alors que pour la classification belge ou SPI, ce sont des ferralsols ou des sols ferrallitiques *sensu stricto* qui correspondent à des stades beaucoup plus évolués du phénomène. En fait, sols faiblement ferrallitiques et sols ferrallitiques typiques peuvent être les uns et les autres ou ferrisols ou ferralsols.

Si l'on compare la position des sols rouges sénégalais dans les diverses classifications en regard des facteurs du milieu qui orientent leur évolution et l'intensité des processus mis en cause, la définition “sols faiblement ferrallitiques” paraît beaucoup plus logique. En effet, ils se distribuent

géographiquement entre les sols ferrugineux tropicaux lessivés et les sols ferrallitiques typiques. Ils occupent une position intermédiaire entre les pédoclimats de savanes et les pédoclimats des forêts humides. Leurs limites supérieures (en régions sèches) et inférieures (en régions plus humides) sont bien tranchées, principalement sous climat tropical. Vers les régions équatoriales, les frontières entre sols ferrugineux tropicaux et sols faiblement ferrallitiques sont plus diffuses car elles correspondent à des zones de transition climatiques où de nouveaux processus pédologiques interfèrent en liaison avec des phénomènes de dégradation (érosion, hydromorphie superficielle, concrétionnement, cuirassement, etc.).

Le défaut des diverses classifications est de s'appuyer presque exclusivement sur des critères d'altération. Or ces derniers ont non seulement une importance pédologique, mais influent également sur la morphologie et la géologie, les processus mis en cause jouant ordinairement sur une grande épaisseur depuis des temps reculés (Tertiaire, parfois même Crétacé). On aborde ici le problème des "écorces d'altération" (J. J. GINSBURG, 1957). Il est donc nécessaire de préciser tout d'abord ce qu'est la ferrallitisation.

Sous ce vocable se masquent plusieurs processus qui interfèrent à des niveaux variés :

- des processus d'altération ;
- des processus de néosynthèse ;
- des mécanismes de redistribution de minéraux primaires et (ou) néogènes.

Mon point de vue est de limiter la définition aux seuls processus d'altération : la ferrallitisation est un ensemble de processus naturels d'hydrolyses intenses et extrêmement poussées qui provoquent la rupture du réseau cristallin des minéraux primaires (alumine, silicates) des roches. Les éléments constitutifs sont individualisés sous des formes simples plus ou moins ionisées : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , TiO_2 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , H^+ etc.... On conçoit qu'une telle altération puisse être plus ou moins complète suivant l'intensité et la durée des phénomènes, en liaison avec les conditions du milieu et la nature des roches (certains minéraux sont plus altérables que d'autres).

A partir de ces éléments individualisés et suivant les conditions du drainage, du pH, de la concentration en certains cations (Ca et Mg en particulier), il y a ou exportation de certains matériaux à travers ou hors des profils, ou recombinaisons de certains d'entre eux, ce qui provoque l'apparition *in situ* de produits néogènes. Dans un milieu bien drainé, pauvre en silice, on observe l'apparition et l'augmentation des teneurs en alumine libre. En milieu humide, pauvre en bases mais riche en silice, il y a néosynthèse de la kaolinite. Quand le drainage est déficient et les percolats riches en cations alcalins terreux, on constate la formation, plus ou moins

poussée, d'argile 2 : 1 et même parfois de montmorillonite (N. LENEUF, 1960). A ce deuxième stade, les horizons d'altération sont composés d'un mélange de matériaux résiduels plus ou moins décomposés, d'éléments individualisés, et de produits de néosynthèse.

Mais une troisième série de phénomènes se superpose aux précédents. Elle découle de la circulation des solutions du sol à travers le complexe d'altération. On observe des migrations différentielles des enrichissements verticaux ou latéraux de produits qui parfois s'immobilisent, ce qui amène une redistribution des matériaux texturaux, non seulement à travers les profils, mais également à travers le paysage. Le lessivage de l'argile provoque une augmentation relative des teneurs en sesquioxydes. La mobilisation du fer a pour corollaire l'augmentation des teneurs en alumine. La concentration et l'immobilisation des sesquioxydes contribuent à la formation des concrétions et des cuirasses (R. MAIGNIEN, 1958).

Tous ces processus sont étroitement liés au régime hydrique à l'intérieur des écorces d'altérations, d'où l'importance des niveaux hydrostatiques et des nappes phréatiques temporaires ou non qui se réalisent à des profondeurs variées et qui sont fonction du rythme climatique, du modelé, de la couverture végétale, de la constitution des roches.

Ce complexe d'altération est soumis à l'ensemble des mécanismes qui contribue à la mise en place du modelé. Il se produit des remaniements superficiels, parfois importants (ROUGERIE, 1960). Il est alors difficile, sinon impossible, d'utiliser les diverses formules basées sur la comparaison analytique des différents niveaux. Il n'y a souvent que des relations très lointaines entre les constituants minéralogiques des sols et ceux des roches-mères qui ont donné naissance au matériau originel. Lorsque, pour définir un sol, on peut s'appuyer sur ces caractéristiques d'altération, il est important de considérer non seulement l'état actuel du profil (cas d'une classification morphologique) mais aussi de le situer dans une évolution générale, en précisant le stade d'évolution. Certaines caractéristiques n'apparaissent en effet qu'à des stades de maturité. Leur absence dans des stades de jeunesse n'implique pas leur inexistence. La notion d'âge du sol est par suite très importante. Par exemple, sous forêt humide, sous des pluviométries équatoriales supérieures à 1.500 mm/an, la pédogénèse est typiquement ferrallitique. Or nombreux sont les sols peu épais, rajeunis par l'érosion qui contiennent des quantités importantes de minéraux primaires partiellement altérés. Morphologiquement ce sont des ferrisols ; génétiquement ce sont des sols jeunes ferrallitiques. En suivant cette optique, il est possible de faire une objection importante : le rajeunissement est-il lié à une morphogénèse spécifique du milieu équatorial humide ? Dans ces conditions, les sols correspondent à un pédoclimax et prennent place au niveau du groupe. De toute façon, il est essentiel de connaître le sens de l'évolution, car quel que soit l'état actuel du sol, c'est cette évolution qui oriente le mode d'utilisation.

Les principaux groupes de processus attachés au terme "ferrallitisation" interfèrent à des stades différents d'intensité et d'évolution pour définir des types variés de sols ferrallitiques. Mais ces processus jouent principalement sur la caractérisation du matériau originel. Une définition de sol doit s'appuyer sur d'autres caractéristiques pédologiques plus facilement perceptibles et liées cependant à ces différents stades d'évolution. L'emploi de ces critères doit permettre de définir logiquement les sols tropicaux formés sur des sédiments composés de matériaux stables comme la kaolinite, les sesquioxides et le quartz. Ces sédiments d'origine souvent détritique sont en équilibre climacique avec les conditions actuelles du milieu d'altération. Les définitions classiques n'ont, dans ce cas, aucune signification et l'application des critères d'altération amène à classer le matériau originel comme type de sol. Ceci n'est cependant pas sans intérêt, par exemple pour des études de paléogéographie. Ainsi les dépôts du Continental Terminal résultent de l'accumulation, dans l'ancien golfe du Sénégal de matériaux ferrallitiques arrachés aux reliefs des régions orientales et ce sédiment a conservé l'empreinte des altérations anciennes (C. MICHEL, 1961).

L'étude pédologique des sols rouges sénégalais montre que le critère "altération" n'est pas applicable, le critère "limon/argile" et "revêtement argileux" non plus, ceci et cela résultant de la nature même du matériau originel. Il reste pourtant d'autres caractéristiques: couleur, relations fer/argile, structure, type de matière organique qui donnent leur originalité aux profils. Ces données sont aussi importantes que les premières d'autant qu'elles correspondent à des processus spécifiques. Aussi nous définissons ces sols comme un sous-groupe de sols rouges faiblement ferrallitiques, les critères retenus étant:

- couleur rouge uniforme du profil (5 à 7,5 YR),
- profil A (B) C,
- épaisseur d'au moins trois mètres,
- structure friable et bonne porosité liée à la présence de pseudosables,
- matière organique bien décomposée, signalant un milieu forestier,
- non-altération apparente du quartz en l'absence de minéraux ferrallitisables (minéraux alumino-silicatés),
- possibilité d'une faible dégradation de la kaolinite en surface (non contrôlée au Sénégal).
- degré de saturation en B, plus faible qu'en sols ferrugineux tropicaux (inférieur en moyenne à 50-55%).

L'ensemble de ces données est caractéristique, même en dehors du concept "altération ferrallitique", car il est possible de les rapprocher des données identiques obtenues sur des sols faiblement ferrallitiques formés sur des schistes et des granites dans les régions SE du Sénégal, où il est

possible d'observer et d'étudier l'altération de minéraux primaires. Ces faits précisent l'évolution actuelle et non les caractères passés.

Enfin, il est des faits géomorphologiques spécifiques aux régions à sols ferrugineux tropicaux et à sols ferrallitiques qui confirment à l'échelle géographique la réalité de ces entités :

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés correspondent à une morphogénèse de longs glacis tendant à l'aplanissement général du relief,
- les sols rouges faiblement ferrallitiques orientent la mise en place d'un relief plus accusé de collines.

CONCLUSIONS

Les régions sud-ouest du Sénégal se caractérisent par le passage brutal de sols de couleur beige et de sols de couleur rouge. Ce contact matérialise la limite entre les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques, et plus spécifiquement entre les sols ferrugineux tropicaux lessivés et les sols faiblement ferrallitiques.

La constitution du matériau originel sur lequel les sols se développent — mélange de grains de quartz, de kaolinite et de sesquioxides de fer — limite l'utilisation des critères d'altération pour définir ce passage. Cependant, d'autres caractéristiques, pédogénétiquement aussi importantes, permettent de préciser les différences fondamentales entre ces deux groupes de sols. Ces caractéristiques portent sur l'individualisation des profils, sur la couleur, sur l'évolution de la matière organique, sur le dynamisme du fer en relation avec les matériaux argileux, sur la structure. Ces données permettent de définir avec précision la limite supérieure des sols ferrallitiques en région tropicale sèche, et par suite leurs conditions extrêmes de formation. Ces données sont essentielles pour la mise en valeur des régions intéressées. Elles précisent que, si le développement d'une agriculture axée sur des cultures annuelles est parfaitement valable sur les sols ferrugineux tropicaux lessivés, cette politique d'utilisation est à proscrire sur les sols rouges faiblement ferrallitiques. Ces derniers se forment et évoluent, en domaines pré-forestiers. La mise en valeur doit s'orienter vers des productions dont l'écologie se rapproche de ces dernières, c'est-à-dire vers le développement des cultures pérennes.

Il est à noter qu'au nord de la Gambie, les sols rouges présentent des caractéristiques morphologiques et analytiques qui signalent une évolution vers les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Ceci est dû à la dégradation du couvert forestier accusé par des précipitations moins abondantes. Les sols rouges y sont en déséquilibre climaciques. Il est d'ailleurs probable que ces sols sont subactuels et récurrents d'une période récente plus humide (on peut estimer le dessèchement à 150-200 mm/an). Leur situation sur les surfaces les plus anciennes confirme cette interprétation. Il est certain d'autre part, que les influences marines qui amortissent les conditions

extérieures du climat tropical soudanais, favorisent le maintien des sols rouges. Ils sont ici à leur limite extrême de formation. Leur utilisation en est d'autant plus délicate. Elle doit faire appel à des méthodes de fertilisation poussées : engrais verts, engrais minéraux, rotation, lutte contre l'érosion, etc. et il est intéressant de signaler les résultats encourageants obtenus sur les essais de cultures associées (arachides et lignes de mil) où sont reproduites artificiellement les conditions d'utilisation des différents horizons des sols et des différentes strates aériennes qui se réalisent normalement sous végétation de savane. Les méthodes culturales appliquées à ces sols limites doivent tenter de reproduire, autant que faire se peut, les conditions du milieu naturel.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT, G., 1958. Classification des sols tropicaux CRACCUS, Brazzaville.
- AUBERT, G., DUBOIS, J., MAIGNIEN, R., 1948. Les sols à arachide du Sénégal. — Inspection Générale Agriculture, A.O.F.
- AUBREVILLE, A., 1949. Climat, Forêts et Désertification de l'Afrique. — Soc. Edit. Géo. Marit. Colo., Paris.
- D'HOORE, J., 1954. L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux. — INEAC, Série Sc., N° 62, 131 p.
- D'HOORE, J., FRIPIAT, J. J., GASTUCHE, M. C., 1954. Quelques remarques sur les oxydes de fer fixés sur les argiles tropicales. Léo, Conf. Inter-afric. Sols, N° 13.
- DOMMERGUE, Y., et MAHEUT, J., 1960. Les teckeraies de Casamance, Capacité de production des peuplements, Caractéristiques biologiques et maintien du potentiel productif des sols. — Bois et Forêts des Tropiques, N° 70.
- DUBOIS, J., 1949. Esquisse des différents types de sols de la moitié sud du Sénégal. — *Bull. Agri. Congo Belge*, N° 1, pp. 575-617.
- FAUCK, R., 1955. Etude pédologique de la région de Sedhiou (Casamance). — *Agro. Trop.*, Vol. X, N° 6.
- FOURNIER, F., 1960. Climat et Erosion. — Presses Universitaires de France, Paris.
- GINSBURG, J. J. Principaux résultats de l'Etude des anciennes formations d'altération en U.R.S.S. — Traduction BRGM, Dakar, 1960.
- LENEUF, N., 1960. L'altération des granites calco-alcalins en Côte d'Ivoire. — Publication ORSTOM, N° 2.
- MAIGNIEN, R., 1958. Les savanes tropicales de l'Ouest africain. — 2^e thèse. Strasbourg. — Faculté des Sciences.
- MAIGNIEN, R., 1959. Les sols à arachides du Laghem Oriental. — Rapport IRHO, Centre Pédologie, Dakar, 64 p.
- MAIGNIEN, R., 1960. Influences anciennes sur la formation, l'évolution et la répartition des sols en Afrique de l'Ouest. — 7^e Congrès International Sc. Sol. Madison, U.S.A.
- MICHEL, P., 1960. L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute-Gambie. — *Revue Géomorpho. Dyn.*, p. 117-43.
- MICHEL, P., 1960. Recherches géomorphologiques en Casamance et en Gambie méridionale. Rapp. BRGM, Dakar.
- ROUGERIE, G., 1960. Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. — Mémoires IFAN, N° 58, 542 p., Dakar.
- SPI (Dalaba), 1959. Légende de la carte d'Afrique au 1/5.000.000, 3^e approximation.
- SYS, 1959. Cartographie et Classification régionale des sols du Congo. — 3^e Conf. Inter-afric. Sols, Dalaba, 32.
- TROCHAIN, J., 1936. Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. — Mémoires IFAN, N° 2, Dakar.

DIAGRAM OF CLIMATE
(Precipitation and Evaporation)
DIAGRAMME CLIMATIQUE
(Précipitation et Évaporation)

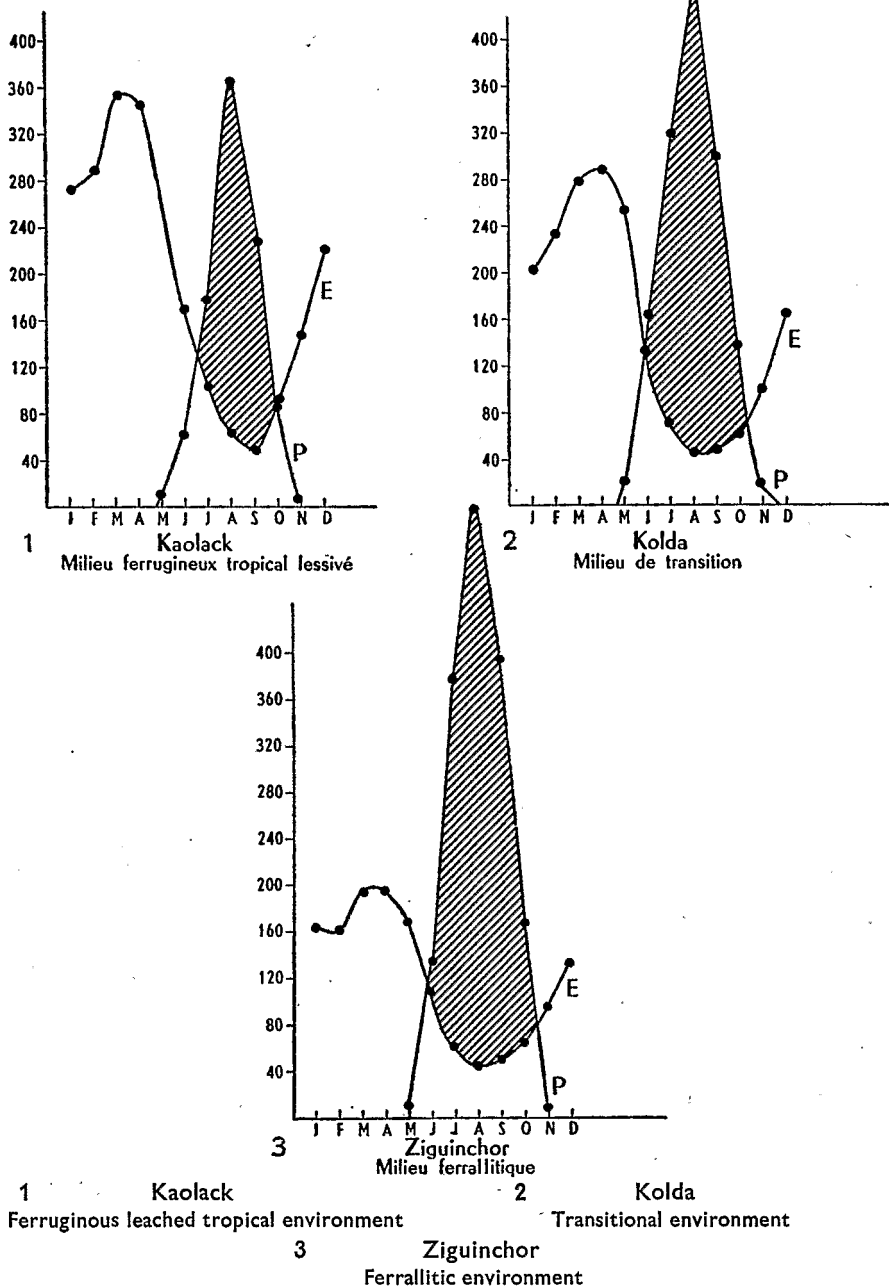


FIGURE 1

Pedological diagram showing the line of demarcation between ferruginous and ferrallitic soils in the SW of Senegal

Schéma pédologique montrant la limite entre les sols ferrugineux et les sols ferrallitiques dans les régions SW du Sénégal

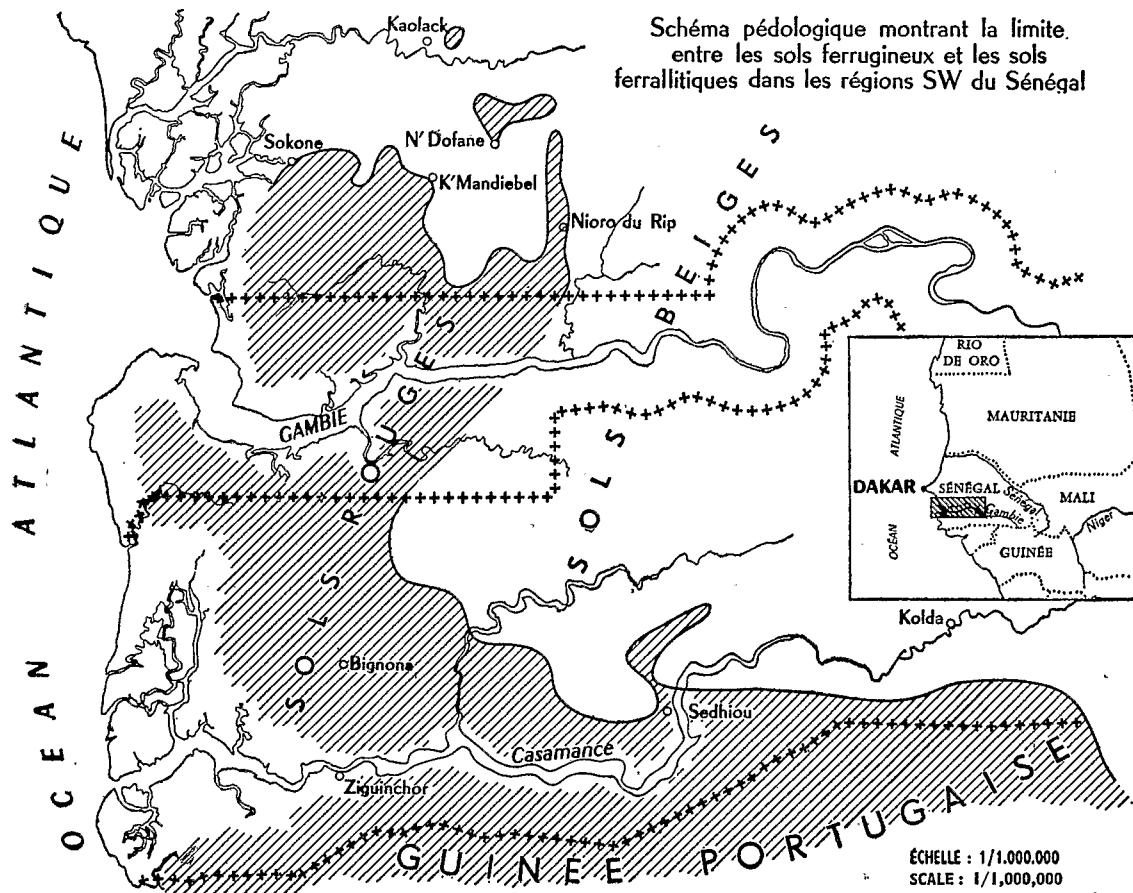
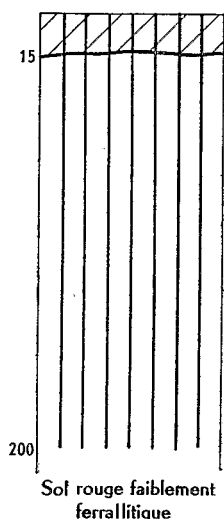
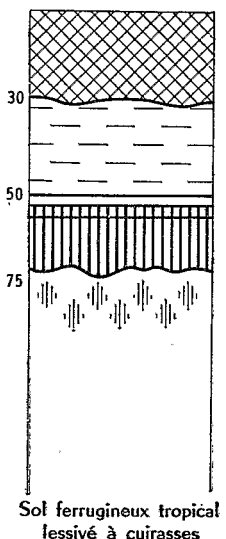
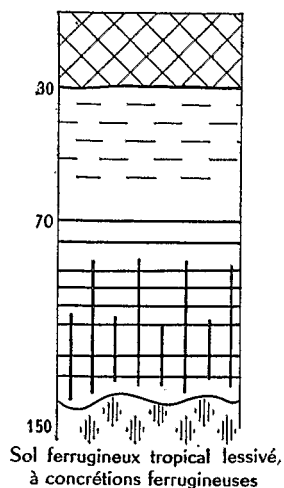
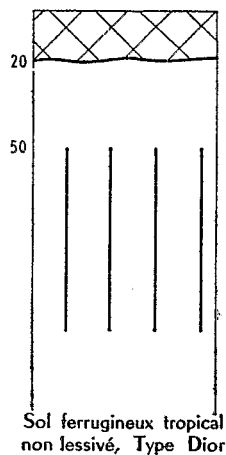


FIGURE 2

PROFILS DE SOLS BEIGES ET DE SOLS ROUGES



LÉGENDE DES SYMBOLES

-  Horizon humifère particulaire
-  Horizon humifère granuleux actif
-  Accumulation argileuse
-  Horizon lessivé
-  Accumulation de sesquioxydes ferriques
-  Cuirasse ferrugineuse
-  Précipitations localisées de sesquioxydes de fer

L'abondance des différents éléments est indiquée par l'espace plus ou moins grand des lignes ou la densité des symboles

CONVENTIONAL SYMBOLS

- Particulate humiferous horizon
- Granular active humiferous horizon
- Clay accumulation
- Leached horizon
- Accumulation of iron sesquioxides
- Ferruginous cuirasse
- Localised precipitation of iron sesquioxides

The abundance of the various elements is indicated by the wider or narrower spacing of the lines and the density of the symbols

PROFILES OF YELLOWISH BROWN SOILS AND RED SOILS

Non-leached ferruginous tropical soil, Dior type

Leached ferruginous tropical soil with ferruginous concretions

Leached ferruginous tropical soil with cuirasse formation

Weakly ferrallitic red soil

FIGURE 3

THE TRANSITION FROM FERRUGINOUS TROPICAL SOILS TO FERRALLITIC SOILS IN THE SOUTH-WEST OF SENEGAL

(Senegal Republic)

R. MAIGNIEN

Docteur ès Sciences

Directeur de Recherches à l'ORSTOM

I. GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT	174
1. Situation	174
2. Climate	174
3. Rock formations—Surface relief—Hydrography	180
4. Vegetation	182
5. Land Use	184
II. YELLOWISH BROWN SOILS AND RED SOILS	184
1. Yellowish brown soils	184
2. Red soils	205
III. DISCUSSION AND CRITICISM OF RESULTS	211
1. Morphology	211
2. Analytical characteristics	212
IV. DEFINITION AND CLASSIFICATION	219
CONCLUSIONS	227
BIBLIOGRAPHY	228

INTRODUCTION

A study of the soils bordering the routes leading along the Middle and Lower Casamance to Niombato (Senegal) shows a sharp transition from the yellowish brown soils which develop towards the North and East to the red soils which are widespread in the South. The line of demarcation is distinct and the limits are easy to pick out on the terrain (colour of termite mounds).

No particular change is to be noted with regard to the characteristics of subjacent geological formations or the parent material. They are more or less clayey sandstones partly reworked at the surface. Similarly, the topography presents but little difference. It is of sub-horizontal, low-plateau

type on which drainage lines are not easily found by surface water. The vegetation presents little variety and belongs to the tree savanna and xerophyllous forest type with gradual transition to more humid facies. Local agriculture is based on annual crops—groundnuts and millet—and marked differences take place in the soils when they are placed under cultivation. Nevertheless, the most obvious discontinuity remains the sharp transition from yellowish brown soils to red soils.

Beneath the pedological differences lies a very important problem, viz. the limit between the ferruginous tropical soils and the ferrallitic soils. This is the dominant problem in **tropical** pedology. It is of interest to undertake such a study in Senegal as the environmental factors there are little differentiated. This way of tackling the question will lead to more precise definition of the soils groups and consequently to their being placed in a general classification.

The following plan has been adopted :

1. Study of the geographical environment.
2. The soils—morphology and analytical data.
3. Discussion and criticism of results.
4. Tentative interpretation—Definition and classification.

I.—GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT

1. Situation—Limits

North of British Gambia the transition of yellowish brown soils to red soils concerns Niombato and East Laghem whilst south of Gambia the areas concerned are the Middle and Lower Casamance. The yellowish brown soils develop to the north and to the east ; the red soils develop to the south and west. The boundary line between these soils approximately follows a N.W. to S.E. direction : Sokone—Keur Madiabel—Keur Mattar—Nioro du Rip, where a narrow strip pushes up northwards beyond Darou—Farafenni—Massembe—Koulikan—Sedhiou, where a strip forks off towards the CGOT holdings (U C III),—South Kolda—Mampatin—Mouri Kounda—thence penetrating further to the S.E. into Portuguese Guinea. North of N'Dofane there are several isolated patches of red soils which string out as far as the Kaolack Kahone area.

The extreme limits are :

$$\begin{array}{l} 14^{\circ} \text{ N}-15^{\circ}30' \text{ W} \\ 12^{\circ}50' \text{ N}-14^{\circ} \text{ W} \end{array}$$

Thus the red soils are found in the area bordering the Atlantic coast and towards Portuguese Guinea.

2.—Climate

The areas discussed are situated at the limit of the Sahelo-Senegalese and Guinea Lower Casamance bio-climates which can be considered as

CLIMATIC CHARACTERISTICS OF VARIOUS STATIONS

STATION : KAOLACK—Latitude : 14°08 N—Longitude : 16°04 W—
Altitude : 20 ft North of the limit.

	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Temperature													
Mean minimum, ° C.	15.6	16.8	18.0	19.6	21.4	23.6	23.8	23.2	23.2	23.1	20.4	16.9	20.5
Mean maximum, ° C.	33.9	34.9	33.7	39.7	38.4	35.7	32.5	31.2	32.5	34.3	35.7	33.1	35.1
Mean, ° C.	24.8	25.9	28.4	29.7	29.9	29.7	28.2	27.2	27.9	28.7	28.1	25.0	27.8
Vapour pressure													
Mean, mb.	9.7	10.0	10.7	12.8	18.3	24.4	27.1	28.6	29.1	26.8	20.1	12.4	19.2
Relative humidity													
Mean minimum, %	36	17	12	13	22	39	55	64	60	48	30	22	35
Mean maximum, %	61	63	66	68	81	87	92	96	97	95	88	67	80
Cloudiness													
Mean, octas	3.3	2.5	2.1	2.0	3.1	4.5	5.7	6.3	5.7	4.6	3.7	4.3	4.0
Rainfall													
Mean, mm.	0	1	0	0	9	64	181	368	227	91	7	2	950
Wind													
Resultant direction	NE	NNE	NNE	N	NW	W	W	WSW	WSW	NW	NNE	NE	
Average speed, m/s	3.5	4.1	3.7	3.7	3.7	3.1	2.7	2.5	2.3	1.8	2.1	2.6	3.0
Number of days													
Rainfall, 0.1 mm.	0.4	1.3	0.0	0.1	0.2	6.6	14.6	22.0	16.2	6.6	0.4	1.0	69.4
Rainfall, 10 mm.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	5.2	11.2	7.2	2.2	0.0	0.0	28.2
Storm	0.6	0.3	0.0	0.0	0.6	9.8	13.0	15.6	16.6	8.0	0.2	0.0	64.7
Mist	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	0.4	0.0	2.1
Evaporation													
Mean, mm.	276	289	352	344	264	173	107	65	52	97	152	222	2,395

STATION : KOLDA—Latitude : 12°55 N—Longitude : 14°55 W—
Altitude : 75 ft. at the limit.

	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Temperature													
Mean minimum, ° C.	13.5	16.4	18.8	20.5	22.4	22.7	22.3	21.9	21.7	21.6	20.2	15.2	19.8
Mean maximum, ° C.	35.2	37.0	40.2	40.9	39.9	35.4	32.3	31.0	32.2	33.2	34.4	33.2	35.4
Mean, ° C.	24.4	26.7	29.5	30.7	31.2	29.1	27.3	26.5	27.0	27.4	27.3	24.2	27.6
Mean vapour pressure													
Mean, mb.	12.5	12.7	15.1	18.1	21.6	26.6	28.1	28.3	28.6	28.4	24.8	15.7	21.7
Relative humidity													
Mean minimum, %	21	20	18	21	42	47	59	65	63	57	44	30	41
Mean maximum, %	86	74	77	79	81	92	96	97	97	97	97	92	89
Cloudiness													
Mean, octas	2.5	2.1	1.8	1.5	2.7	5.0	5.8	6.7	5.7	4.7	3.1	3.3	3.7
Rainfall													
Mean, mm.	0	0	0	0	20	165	320	440	304	139	20	2	1,410
Wind													
Resultant direction	NE	NE	NE	N	SW	SW	SW	SW	SW	SW	NW	NE	
Average speed, m/s	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3
Number of days													
Rainfall, 0.1 mm.	0.6	0.0	0.0	0.2	2.6	12.2	18.2	24.8	17.4	11.4	1.6	0.8	89.8
Rainfall, 10 mm.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	5.4	8.4	13.0	9.4	3.6	0.8	0.2	41.2
Storm	0.2	0.0	0.0	0.0	1.8	11.4	10.4	13.6	7.8	1.6	1.6	0.2	57.4
Mist	0.8	0.8	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.6	1.8	1.4	1.0	0.4	7.6
Evaporation													
Mean, mm.	203	237	281	290	255	133	72	49	56	70	101	148	1,895

STATION : ZIGUINCHOR—Latitude : 12°35 N—Longitude : 16°16 W—
Altitude : 33 ft. South of the limit

	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Temperature													
Mean minimum, °C.	16.1	16.7	17.2	18.9	21.3	22.7	22.6	22.3	22.6	22.7	22.1	18.1	20.3
Mean maximum, °C.	32.0	33.9	36.6	36.9	35.0	33.1	30.4	29.2	30.9	32.1	32.7	30.6	32.8
Mean, °C.	24.1	25.3	26.9	27.9	28.2	27.9	26.5	25.8	26.8	27.4	27.5	24.4	26.6
Vapour pressure													
Mean, mb.	16.6	17.8	19.3	21.1	25.1	27.9	29.2	29.1	29.6	29.8	27.6	20.2	24.4
Relative humidity													
Mean minimum, %	33	32	28	32	44	55	69	73	68	62	55	45	50
Mean maximum, %	91	91	92	92	94	96	99	99	99	99	99	95	96
Cloudiness													
Mean, octas	2.7	2.1	1.9	1.8	3.4	5.5	6.5	6.7	6.3	5.3	3.9	3.9	4.2
Insolation													
Mean duration, hours.	213	228	293	299	273	170	125	93	154	206	234	179	2,467
Percentage, %	60	69	81	80	69	44	32	24	42	56	68	51	56
Rainfall													
Mean, mm.	0	0	0	0	11	136	381	533	391	172	14	3	1,646
Wind													
Resultant direction	NNE	NNW	WNW	NNW	W	W	WSW	WSW	WSW	NNW	NW	NNE	
Average speed, m/s	1.9	2.6	2.9	3.3	3.8	2.9	2.6	2.5	1.9	1.3	1.3	1.6	2.4
Number of days													
No isolation	2.0	1.4	0.0	0.0	0.2	0.6	2.4	4.0	1.6	0.4	1.0	2.6	16.2
Rainfall, 0.1 mm.	0.2	0.3	0.0	0.0	2.2	11.6	21.6	26.7	21.7	13.1	2.6	0.7	100.7
Rainfall, 10 mm.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.1	10.3	13.4	10.8	6.0	0.3	0.1	45.4
Storm	0.0	0.0	0.0	0.2	1.8	9.9	18.0	12.8	21.0	19.4	13.2	0.0	86.3
Mist	2.8	0.2	0.4	0.4	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	1.2	1.0	0.6	7.2
Evaporation													
Mean, mm.	168	166	199	199	171	111	64	47	53	65	97	138	1,478

maritime sub-climates of the Sahelo-Sudanese type (AUBREVILLE, 1949). Though further north than Lower Guinea, where the Guinea maritime climate obtains, the same sudden change from the dry to the wet season and the reverse is noted but, in addition to this, the dry season is longer whilst the wet season is generally shorter. Towards the N.E. the dryer influence of the Sahelo-Sudanese climate becomes more marked.

2.1.—Temperature

Thermal conditions are of Sahelo-Sudanese type with two maxima, the first in May and the second in October, and two minima, one in December–January (absolute maximum) and the other in August. These characteristics are more marked to the East. Mean annual temperature varies from 26.6° to 27.8° C; mean monthly minimum varies from 13.5° to 16.1° C. and mean monthly maximum from 36.9° to 39.9° C. The thermal range is **wide**.

2.2.—Vapour pressure

Mean annual vapour pressure varies from 19.2 to 24.4 mb. Mean monthly minima vary from 9.7 to 16.6 in January and the mean monthly maxima vary from 28.6 to 29.6 in September. Annual variation is **very wide**.

2.3.—Relative humidity

Relative humidity is minimum in March and maximum in August.

	<i>Kaolack</i>	<i>Kolda</i>	<i>Ziguinchor</i>
	%	%	%
March mean	12	18	28
August mean	96	97	99

Daily and annual variation is **very great**.

2.4.—Precipitation

Annual precipitation generally exceeds 1,000 mm. It increases going from north to south and from east to west.

Stations	Nioro du Rip	Inhor	Sedhiou	Kolda	Linkerin
Geographical localisation .	13°44 N 15°47 W alt. 18 m.	14°27 N 15°39 W alt. 30 m.	12°42 N 15°33 W alt. 15 m.	12°55 N 14°55 W alt. 23 m.	12°58 N 13°44 W alt. 56 m.
Mean annual rainfall in mm..	915·9	1,341·1	1,386·9	1,1180·3	1,068·4
Number of days	54·4	61·3	74·9	62·4	54·2
Maximum in mm. . . .	1,115	1,827	1,730	1,559	1,441
Number of days	56	69	93	72	56
Minimum in mm. . . .	602	1,044	957	999	918
Number of days	39	42	64	49	48

The rains begin suddenly at the beginning of June and end just as suddenly in mid-October. August is the wettest month. Total rainfall varies considerably from year to year, the variation being more marked to the west than to the east. This heterogeneity of conditions has an effect on rainfall intensity.

Number of days of heavy rainfall

	May	June	July	August	September	October
Kaolack						
0·1 mm. . . .	0·2	6·6	14·6	22·0	16·2	6·6
10 mm. . . .	0·0	2·4	5·2	11·2	7·2	2·2
50 mm. . . .	0·0	0·11	0·50	1·20	0·80	0·07
100 mm. . . .	0·0	0·04	0·07	0·18	0·0	0·0

Absolute maximum 158·7 mm. on 17.8.1927

Kolda						
0·1 mm. . . .	2·6	12·2	18·2	24·8	17·4	11·4
10 mm. . . .	0·4	5·4	8·4	13·0	9·4	3·6
50 mm. . . .	0·13	0·30	0·70	1·41	1·11	0·17
100 mm. . . .	0·0	0·0	0·07	0·26	0·11	0·03

Absolute maximum 168·5 mm. on 17.8.1925

Number of days of heavy rainfall

	May	June	July	August	September	October
Sedhiou						
0.1 mm. . . .	—	—	—	—	—	—
10 mm. . . .	—	—	—	—	—	—
50 mm. . . .	0.07	0.14	0.59	1.93	1.17	0.32
100 mm. . . .	0.0	0.0	0.0	0.17	0.18	0.04
200 mm. . . .	0.0	0.0	0.0	0.0	0.04	0.0

Absolute maximum 195.5 mm. on 28.8.1921

Ziguinchor						
0.1 mm. . . .	2.2	11.6	21.6	26.7	21.7	13.1
10 mm. . . .	0.4	4.1	10.3	13.4	10.8	6.0
50 mm. . . .	0.0	0.32	1.30	2.61	1.36	0.29
100 mm. . . .	0.0	0.03	0.19	0.57	0.14	0.07
200 mm. . . .	0.0	0.0	0.0	0.03	0.0	0.0

Absolute maximum 216.2 mm. on 13.8.1932

The erosive action of these rains can be determined from data collected at Sefa. The heaviest recorded storm was in August 1949, when 117 mm. of rain fell. The highest mean intensity recorded is 1.38 mm. per minute (for a downpour of 83 mm.). The maximum intensity for a downpour of less than 10 minutes' duration is 1.15 mm. per minute (R FAUCK, 1955).

The wet season index is 5-0-7 and less frequently 4-1-7.

2.5.—Soil climate

Much data has been collected on the CGOT holdings at Sefa which mark the limit between the red soils and the yellowish brown soils. Climatic variations affect the evolution of soil thermic and moisture profiles which depend, to a large extent, on local micro-climate and on vegetation cover in particular. However, the role played by soil colour and type is not unimportant.

Effect of vegetation cover on soil micro-climate

February 1951

		Cultivated plot	Forest edge
Air temperature . . .	minimum	28.2°	25°
	maximum	41.8°	37°
Relative humidity . . .	minimum	40%	55%
	maximum	51%	62%

Generally speaking, there is a time lag between variations in soil temperature as compared with air temperature (the phenomenon is little marked at a depth of 15 cm.). This time lag is daily :

—maximum air temperature : 3 p.m.

—maximum soil temperature at 30 cm. : 6 p.m.

and annual, successive maxima taking place :

- at 15 cm., one day later than maximum air temperature
- at 30 cm., three days later than maximum air temperature.

The amplitude of air temperature variation is reduced in the soil.

December 1951	{	24° air temperature
Amplitude of daily variation		18° soil temperature at 15 cm.
		16° soil temperature at 30 cm.

As the dry season advances the soil dries out and stocks a considerable amount of heat. In May and June soil temperature may be as high as 50° at the surface and 40° C. at a depth of 30 cm. under vegetation (FAUCK, 1955).

Mean daily variation in temperature

January 1954 (Sefa)

Depth in cm.	Dry forest	Bare plot
15	11.2°	15°
30	12°	17.5°

Maximum temperature in January 1954

(Yellowish Brown Soil)

Depth in cm.	Dry forest	Bare plot
15	36.4°	38.9°
30	32.8°	40°

Comparison of moisture profiles at Sefa 15.1.1955 (2 months after the wet season)

% of Humidity

Depth in cm.	Red soil— under forest	Red soil— bare plot	Yellowish brown soil— under forest	Yellowish brown soil— bare plot
0-10	0.6	0.4	0.7	3.6
20-30	0.8	1.2	8.0	4.5
40-60	3.2	4.3	8.4	6.7
60-80	4.0	6.5	8.8	7.7
80-100	5.5	8.4	—	7.2
120 cm.	6.9	8.6	—	8.2

The red soils dry out more rapidly in their surface horizon than do the yellowish brown soils. This is probably due to the presence of moisture-resistant pseudosands cemented by iron.

These different notions can be synthesised by working out various climatic indices.

		Kaolack	Kolda	Ziguinchor
Lang's coefficient	$\frac{P}{T}$	34	51	61
Martonne's index of aridity	$\frac{T + 10}{P}$	40	26	22
Fournier's index of erosion	$\frac{p^2}{P}$	142	137	175
Henin's computed drainage D =	$\frac{\gamma P_3}{1 + \gamma P_2}$	175 mm.	465 mm.	695 mm.
	where $\gamma = \frac{1}{0.15 T - 0.13}$	North of the limit	limit	South of the limit

3.—Rock formations—Surface relief—Hydrography

The soils are developed on sandy clay material which is the more or less reworked product of clay sandstone of the Mioplicene period : Terminal Continental. Trench observations show a succession of layers of more or less clayey sand white to red in colour, violet-brown fairly friable ferruginous sandstone, beds of mauve coloured clay nodules in mottled clay sand, compact clay beds.

—**Kolda** = trench situated at the edge of a low plateau west of the town.
Altitude = 23 metres ? (85 ft.).

Geological cross-section by P. ELOUARD.

- 0 - 1.80 m. : blocks of laterite in red sand.
- 1.80 - 5 m. : reddish clay sandstone becoming lighter in colour.
- 5 - 6 m. : embedded, mottled sandy clay.
- 6 - 10 m. : violet, then yellow coloured, kaolinitic clay.
- 10 - 11 m. : red ferruginous coarse quartzous sandstone.
- 11 - 12 m. : violet coloured clay.
- 12 - 14.6 m. : yellow clay sandstone with ferruginous concretions.
- 14.6 - 20 m. : yellow kaolinitic clay.
- 20 - 20.3 m. : very aquiferous coarse yellow lateritic sandstone.

—**Sefa** = CGOT trench on the low plateau overlooking the Casamance.

Altitude = between 16 and 18 metres ? (between 53 and 60 ft.).

Geological cross-section by R. DEGALLIER.

- 0 - 4 m. : red clayey sand.
- 4 - 11.7 m. : laterite.
- 11.7 - 15 m. : yellow clay.
- 15 - 25 m. : white-yellow sand with layers of mottled clay.
- 25 - 34 m. : soft sandstone and sand, often clayey.
- 34 - 38 m. : compact yellow clay.
- 38 - 41 m. : soft laterite.
- 41 - 43 m. : yellow marly sand.

—Ziguinchor 3

Altitude = 3.63 m. (12 ft.).

Geological cross-section R. DEGALLIER and A. GORODISKI.

- 0 - 7.10 m.: yellow sand with a few fragments of "Arca".
- 7.10- 12.15 m.: grey-yellow clayey sandstone.
- 12.15- 21 m.: laterite and continental sand.
- 21 - 42.5 m.: clayey sands.

—Balandine = 16 miles N.N.E. of Bignona.

Altitude = 7.10 metres (23 ft.).

Geological cross-section R DEGALLIER and A. GORODISKI.

- 0 - 7.10 m.: fine yellow sand.
- 11 - 20 m.: purple laterite.
- 20 - 51 m.: yellow sandy clay,
marl and **Miocene** marly shell limestone.
- 51 - 53 m.: laterite.
- 53 - 59 m.: coarse grey sand.
- 59 - 61.5 m.: laterite.
- 61.5 - 106 m.: grey to blue-green clay with lignite; grey to white
sand with numerous clayey patches.

The material taking part in the formation of these soils comprises a mixture of kaolinitic clays, grains of quartz and iron sesquioxides (mainly Goethite). The deposition of Terminal Continental is linked with the erosion of raised areas of the upper basins of the Senegal and the Gambia (P. MICHEL, 1959). These areas composed of miscellaneous rocks, granites, schists, sandstone, etc., were strongly ferrallitised from the end of the Cretaceous period. The weathered products of runoff are at the origin of the immense recumbent fold called the Terminal Continental.

These sediments have given a surface relief of low plateaux with a very flat surface. The plateaux sides slope down very gently to the thalwegs. In places, outcrops of ferruginous cuirasses form scarplets of 50 cm. to a metre high. It is only bordering the Gambia and the Casamance that the taluses are more marked (5 to 20 metres). The eastern sections are more massive in appearance than those of the coast side. Large streams cut deeply into these plateaux whilst small "marigots"* flow on their surface. The hydrographic network drains the water towards the Saloum, the Gambia, the Casamance, and its main tributary the Sangrougrou. These rivers run all the year round. Their beds, often widening out in their lower courses, are nevertheless clearly defined. The rest of the network is composed of temporary marigots which are more or less of the nature of

* Marigot: in tropical Africa and N. America = arm of river which becomes lost and/or low-lying ground subject to inundation.

drains. Their cross-sections are very wide. Flow in them is only sporadically functional in the wet season.

The lines of drainage generally end in swampy plains often very large and more or less silted over. These plains link the lines of drainage with the permanent streams. The latter cut into the plateaux to a depth of 10–12 metres. These breaches, accentuated by the cuirass formation, become deeper going from North to South and from East to West where they attain a depth of 30–40 metres.

Except in Lower Casamance, the hydrographic network is very open and separates one from another a series of flat plateaux. The slopes linked with the flow lines are long and generally less than 2%. The plateaux tops, often very wide, are very flat, sometimes hollowed out and poorly drained. Occasionally, a little accentuated crest stands out from the surrounding landscape. When this occurs the crest is generally crowned by an old cuirass formation in process of disintegration. Banks, generally sandy, occasionally somewhat clayey, line the above-mentioned "drains". These latter link up with plains, silted up by saline marine alluvia which lie along the course of the Gambia and of the Casamance.

The plateaux sides are broken by ferruginous cuirass outcrops. In Casamance there are two cuirass formation layers (S. DUBOIS, 1949; R. FAUCK, 1955) and they crop out practically everywhere between 27–29 metres and 11–15 metres. They are also found in Northern Gambia where the upper cuirass caps certain plateaux (Koutal–N'Dofane). These formations present the characteristics of sheet cuirasses. Their origin seems to be linked with successive drops in the water table during the Quaternary period. The process of accumulation by lateral movement of iron towards the drainage points of the plateaux explains the greater degree of development and more pronounced hardening of the cuirass formation at plateaux edges (R. MAIGNIEN, 1958). The dynamics of these phenomena are to be compared with the present formation of a sheet cuirass, under several metres of sediments, at sea level (cliffs at Varela, Portuguese Guinea).

4.—Vegetation

The plant populations mark the transition from Sahelo-Sudanese and more particularly Sahelo-Senegalese savannas to the semi-moist forests of Lower Casamance (A. AUBREVILLE, 1949).

—to the N. and N.E. is found the Sudano-Guinean sub-type of the Sudanese savanna type of vegetation (J. TROCHAIN, 1936). Here fair sized trees are found in association with swards of great *Andropogons* burnt almost every year. The stands are more or less densely wooded and sometimes give place to small areas of dry forest. They are very mixed but a few species predominate locally and it is difficult to characterise these stands by one or two dominant species. These

woodland savannas are often invaded by more xerophyte elements (*Combretaceae*—*Acacia*) which come in more and more in stands degraded by fire or cultivation. The most common species found in these woodland savannas are *Heterocarpus erinaceus*, *Sterculia setigera*, *Afrormosia laxiflora*, *Bombax costatum*, *Prosopis africana*.

Man-caused degradation leads to profound transformations which multiply the facies in which shrubby undergrowth is dominant, mainly *Terminalia macroptera*. At this stage *Sterculia* and *Bombax* disappear. The tree stratum soon becomes almost exclusively composed of *Cordyla africana* and *Parkia biglobosa*. The grass sward is invaded by *Pennisetum*. The landscape takes on the appearance of savanna parkland. Large patches, corresponding to formerly cultivated land abandoned when exhausted, are colonised by *Imperata cylindrica*:

—to the East lies the region of dry forest with bamboo undergrowth (*Oxythenthera abyssinica*). The timber stand is composed of spaced out good sized trees attaining 50 to 65 ft. in height. The species are Sahelo-Sudanese and Sudano-Guinean with the giant leguminous species predominating: *Cordyla africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Afrormosia laxiflora*, *Prosopis africana*, *Erythrophleum africanum*, *Parkia biglobosa*, *Sterculia setigera*, *Bombax costatum*. Fine, even stands of *Daniella oliveri* and *Ekebergia senegalensis* bear witness to man's activity. After clearing, the fields left fallow are literally invaded by *Pennisetum pedicellatum*.

The undergrowth is unevenly composed of tall clumps (16–32 ft. high) of Abyssinian bamboo and scattered shrubs (*Combretum*).

—to the South-West lies the semi-moist forest region of Lower Casamance. The facies here are transitional between the dense moist forest and the dry open forest of climates characterised by a long dry season. These forests are essentially composed of canopy-forming *Parinari excelsa*, *Erythrophleum guineense*, *Detarium senegalense*, *Azelia africana*. By a process of gradual transition they link up with the dry forests of the **Sahelo-Sudanese region**. Around Ossouye they are replaced by fine stands of *Elaeis guineense*.

To these climatic formations are to be added edaphic formations of lesser interest for this study as they correspond to much more humid, often hydromorphic, soils. They are:

- herbaceous stands, halophytes or non-halophytes, of wooded plains subject to flooding,
- the palm plantations of *Elaeis* and *Roniers* on the sandy fringes of swampy areas,
- mangrove associations bordering the silt covered coastal strip,
- various forest galleries along functional marigots.

5.—Land Use

The areas to the north of the Gambia river are fairly intensively cultivated whereas the areas around the Casamance are much less cultivated. Clearing, on the whole, is of recent date (less than 50 years). Traces of much earlier anthropic influence (dating back several centuries) are nevertheless to be observed.

The traditional form of exploitation of the uplands is the rotation groundnuts—millet—fallow. Recent attempts at improving this system tend to the introduction of a tilled fallow or a green manure crop to guard against soil deterioration. Attempts are being made to introduce a dry rice course into the rotation in place of the traditional graminaceous crops (millet and sorghum).

The studies on soil fertility are numerous and varied :

- Studies by Agricultural Services and CRA from Bambey to Nioro du Rip ;
- by the IRHO at Darou Station and in East Laghem ;
- by Sefa Station staff on CGOT holdings in Casamance.

Increased humidity going towards the S.W. leads to a greater diversity of crops in Casamance : irrigated rice—out of season sweet potatoes—manioc—citrus fruits—bananas—oil-palm and, in the near future, coconuts.

Cultivators have attained a high degree of technical perfection in rice growing on mangrove soils along the banks of the Casamance and the Gambia. Large areas remain unplanted however, and this fact justifies the taking of a new inventory of the agronomic possibilities of these areas.

II.—THE YELLOWISH BROWN SOILS AND THE RED SOILS

Morphology and analytical data

I.—THE YELLOWISH BROWN SOILS

Apart from their colour, the yellowish brown soils of Senegal are characterised by pronounced individualisation of iron and leaching of clay which leads to the formation of a more or less warped horizon at depth. These are typical **leached ferruginous tropical soils**. The deep clay horizon, of pedogenetic origin, plays an important part in immobilising the manganese and iron oxides.

Thus a distinction is made between :

- leached soils without concretions ;
- leached soils with concretions ;
- leached soils with cuirass formation (R. MAIGNIEN, 1959).

1.—Leached ferruginous tropical soils without concretions

These soils are sometimes grouped together under the name of "yellowish brown Sine soils". They are found north of Niombato and Laghem and between Fatick and Kaolack. Fairly developed, their sandy texture marks the transition to non-leached ferruginous tropical soils of "dior" type. They are distinguishable from the latter type of soil however by marked leaching of clay linked with the development of a more clearly defined organic matter horizon. These processes are apparent in a characteristic profile in which may be distinguished from the surface downwards:

- a weakly humiferous grey horizon in which the humus is well mixed with clay. This horizon is thin (20 cm.) and little structured;
- an horizon from which the iron and clay have been leached, light in colour (yellowish brown—10YR), little structured and of varying thickness (30–70 cm.);
- a clay accumulation horizon of more or less sustained colour (ochre to red ochre 7.5 YR) 40–60 cm. thick.

The whole profile does not exceed 150 cm.

1.1. LATEMINGUE camp (East Laghem)—date 29.6.57

Very flat surface relief—no apparent flow—vegetation degraded by cultivation—stand of *Calotropis procera*—agricultural regime: groundnuts—millet—mediocre yields.

Description of profile

- 0–17 cm.: grey yellowish brown colour—weakly humiferous—fine, fairly developed, nutlike sandy structure—low porosity.
- 17–85 cm.: ochre-yellowish brown colour — sandy — little developed coarse nutlike structure with a few angles—porous—leached.
- 85–120 cm.: slightly reddish ochre coloured — sandy with some enrichment in clay — a little pseudo-sand — more markedly nutlike in structure but coarse and slightly hardened—average cohesion.
- 120 cm.: yellowish coloured — sandy, somewhat clayey — some segregation of iron into occasional diffused rusty patches—blended structure—poor cohesion.

Except for the slightly waterlogged surface horizon, the profile taken as a whole seems to be well drained.

The analytical results denote a very sandy texture in the surface horizon. Leaching of clay is very pronounced, higher than 4. There is

Analytical results

	Depth in cm.			
	0-17	17-85	85-120	120-150
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	28.9	32.1	34.0	26.8
Fine sand	61.9	56.2	49.3	56.7
Silt	3.5	3.5	2.8	2.8
Clay	3.0	7.5	12.5	12.0
Organic matter	0.52	0.26	0.14	—
Organic matter %				
Carbon	3.1	1.5	0.8	—
Nitrogen	0.24	0.15	—	—
C/N	12.5	10.0	—	—
Total humic matter	2.2	3.5	—	—
Precipitable humic matter	1.9	3.2	—	—
Acidity pH	6.1	5.8	5.1	5.0
Absorbent complex meq. %				
Ca	1.15	0.95	0.7	0.7
Mg	0.5	0.3	0.1	0.4
K	0.13	0.10	0.09	0.07
Phosphoric acid total %	0.38	0.29	0.25	0.25
Iron content %				
Total iron	7.5	9.2	12.1	11.1
Free iron	4.4	5.6	7.2	6.2
Free iron : total iron	0.58	0.60	0.59	0.55

more fine sand than coarse sand. Organic matter content is low and diminishes rapidly with depth. Humification is excellent but reserves are low. There is a high degree of mineralisation. Organic fertility is good but fleeting. It quickly disappears when the soil is tilled as tillage accelerates oxidation and, consequently, mineralisation.

The absorbent complex is slightly desaturated especially in the clayier horizons. The cations content is low in absolute value, but they are well distributed.

The increase in S and total phosphoric acid content in the topsoil indicates the amendment role of organic matter.

Acidity (pH) depends on the totality of these characteristics. It drops rapidly from 6.1 in the surface horizon to 5.0 at depth.

The variation in amounts of total iron and free iron between the various horizons confirms the vertical migration of this element, whilst the ratio free iron : total iron indicates its great mobility. The beginning of segregation in C corresponds to a slight diminution of the ratio.

1.2.—LATEMINGUE village (East Laghem)—date 29.6.57

Surface relief—planed down dune-type.

Very degraded shrub-type vegetation with numerous *Bauhinia reticulata*.

Agricultural regime : groundnuts, millet.

Description of profile

0-25 cm.: grey-yellowish brown colour — sandy — weakly developed, coarse nutlike structure — numerous insect galleries—fairly porous throughout.

25-60 cm.: slightly reddened yellowish brown — sandy — structure little developed and tending to be nutlike—somewhat hardened—leached.

60-100 cm.: reddened—sandy, weakly enriched in clay, blended structure breaking up into flakes under the hammer—hardened—less porous.

100-200 cm.: little coherent yellowish sand.

Analytical results

	Depth in cm.			
	0-25	25-60	60-100	more than 100
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	42.3	30.6	31.3	27.6
Fine sand	49.3	63.3	59.0	62.1
Silt	1.7	1.8	1.0	1.3
Clay	2.3	2.5	6.5	7.3
Organic matter	0.40	0.22	0.17	0.10
Organic matter ‰				
Carbon	2.3	1.3	—	—
Nitrogen	0.15	0.10	—	—
C/N	15.3	13.0	—	—
Total humic matter	3.1	0.9	—	—
Precipitable humic matter	2.1	0.4	—	—
Acidity pH	5.2	5.2	5.4	5.2
Absorbent complex meq. %				
Ca	0.95	0.90	1.05	0.7
Mg	0.2	0.2	0.2	0.4
K	0.09	0.09	0.09	0.07
Total phosphoric acid ‰	0.22	0.47	0.18	0.25
Iron content ‰				
Total iron	5.7	7.7	5.8	3.8
Free iron	4.2	4.8	5.2	5.3
Free iron : total iron	0.73	0.62	0.89	0.60

The ensemble of these results denotes a less developed soil, poorer and more degraded than the preceding profiles. It presents the characteristics of a "dior" type soil, except for more pronounced clay leaching. The organic matter content is just as considerable. Mobilisation of iron is intense.

1.3.—DIERY (East Laghem)—date 30.6.59

Surface relief, planed down dune type—ridge top—*Guiera senegalensis* fallow after groundnuts millet rotation.

Description of profile

- 0-25 cm.: fairly light greyish brown—little humiferous—sandy—particulate structure, compact assemblage of quartz grains presenting a but slightly porous ensemble—very poor cohesion.
- 25-55 cm.: ochre, slightly reddened—sandy—blended structure—poor cohesion—little porous.
- 55-110 cm.: slightly reddened—sandy—little developed blended structure, somewhat angular—more porous.
- 110 cm.: ochre sand.

Analytical results

	Depth in cm.			
	0-25	25-55	55-110	more than 110
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	55.6	53.4	57.3	51.3
Fine sand	38.7	38.3	36.4	37.2
Silt	1.5	1.8	—	2.0
Clay	2.5	4.8	—	8.3
Organic matter	0.34	0.17	—	—
Organic matter %				
Carbon	2.0	1.0	—	—
Nitrogen	0.15	0.10	—	—
C/N	13.3	10.0	—	—
Total humic matter	1.8	0.9	—	—
Precipitable humic matter	1.6	0.6	—	—
Acidity pH	6.0	6.2	6.2	5.6
Absorbent complex meq. %				
Ca	0.95	1.15	0.8	0.5
Mg	0.4	0.4	0.3	0.3
K	0.11	0.11	0.07	—
Total phosphoric acid %	0.40	0.25	0.18	0.34
Iron content %				
Total iron	5.9	7.8	7.0	9.3
Free iron	3.0	4.1	3.9	5.5
Free iron : total iron	0.50	0.53	0.56	0.58

This soil is also in between "dior" soils and leached ferruginous soils. Leaching of clay is not very intense. It is to be noted that, like the preceding one, this soil is much richer in coarse sand. This is due to reworking by the wind of Terminal Continental sediments bordering the Saloum valley. Thus the original material is more recent and it is possible that this fact has affected the degree of development of the soils.

1.4.—THIALANE (East Laghem)—date 30.6.59

Surface relief—planed down dune type.

Description of profile

0-25 cm.: grey brown, fairly humiferous—sandy—particulate structure—fairly packed—little porous.

25-60 cm.: grey yellowish brown—sandy—little developed somewhat nutlike structure, more coherent—more porous.

60-110 cm.: red ochre somewhat hardened by iron—sandy—blended structure—flakes under the hammer.

more than 110 cm.: ochre-yellow sands, without cohesion.

Analytical results

	Depth in cm.			
	0-25	25-60	60-110	more than 110
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	35.3	32.0	40.0	32.7
Fine sand	57.4	59.1	47.4	52.9
Silt	2.3	1.8	1.8	1.5
Clay	3.5	6.0	9.8	11.8
Organic matter	0.52	0.24	—	—
Organic matter %				
Carbon	3.0	1.4	—	—
Nitrogen	0.15	0.13	—	—
C/N	20.0	10.9	—	—
Total humic matter	1.5	0.9	—	—
Acidity pH	6.0	5.4	5.4	5.2
Absorbent complex meq. %				
Ca	1.0	0.6	0.6	0.5
Mg	0.3	0.5	0.5	0.5
K	0.08	0.07	0.07	0.06
Total phosphoric acid %	0.27	0.27	0.20	0.20
Iron content %				
Total iron	7.3	8.4	9.7	11.0
Free iron	4.2	4.8	5.9	—
Free iron : total iron	0.57	0.56	0.60	—

This, once again, very sandy profile is typically that of a "yellowish brown Sine soil". Leaching of iron and clay is marked. The analytical data point to unfavourable evolution of organic matter in the surface horizon (hydromorphic type).

The totality of data collected concerning these soils enable a distinction to be made between two evolutive series, according to the form of iron oxidation in B:

- a series with a reddened B horizon indicating the transition to "dior" soils,
- a series with an ochre yellowish brown B horizon and marked clay and iron accumulation denoting the change towards ferruginous soils with patches.

Generally speaking, these soils are closely linked with the evolution of their humiferous surface horizon upon which their degree of fertility depends.

2.—Leached ferruginous tropical soils with concretions

The intensity of ferruginous concretioning at depth enables a distinction to be made between two sub-groups :

- yellowish brown soils with little hardened ferruginous patches ;
- yellowish brown soils with indurated ferruginous concretions.

The soils of the first of these sub-groups predominate north of Gambia whilst those of the second are widespread in Middle Casamance where they frequently change into cuirassed soils.

a) Yellowish brown soils with ferruginous patches

These soils are to be found on the gentle slopes ($< 2\%$) bordering the low plateaux.

2.1.—TIAVANDO, 6 miles south of Kaolack and 300 metres to the east of the road to Nioro du Rip.

Low down on a gentle slope.

Savanna parkland with *Cordyla africana*, some *Bauhinia reticulata*, after-crop fallow *Ctenium elegans* and *Eragrostis tremula* following a ground-nuts millet rotation—Mediocre yields.

Description of profile

- 0–30 cm.: grey-yellowish brown, fairly humiferous—sandy—structure tending to be crumblike, little developed and apparently unstable—poor cohesion—fairly porous.
- 30–65 cm.: slightly grey yellowish brown—sandy—little developed nutlike structure, porous—leached.
- 65–120 cm.: ochre-yellowish brown—sandy—weakly developed structure tending to be crumblike, a few angles—porous—well leached.
- 120–180 cm.: yellowish brown with slight segregation of iron not clearly individualised, diffused, non indurated, rounded patches—sandy clay—poorly developed nutlike to polyhedral structure—some pseudosand—fairly porous.
- more than 180 cm.: yellowish sandy-clay original material (Terminal Continental).

Like most of the soils of the region the profile is very sandy in the surface horizon. The coefficient of clay leaching is very high—greater than 4. The predominance of fine sand over coarse sand denotes the slight degree of reworking of Terminal Continental sediments.

Analytical results

	Depth in cm.				
	0-30	30-65	65-120	120-180	More than 180
Mechanical composition %					
Fine earth	100	100	100	100	100
Coarse sand	28.3	28.5	28.0	32.5	24.8
Fine sand	65.2	61.9	64.0	50.9	59.2
Silt	2.2	2.5	2.5	3.0	2.7
Clay	2.6	5.5	4.2	12.0	11.5
Organic matter	0.47	0.27	—	—	—
Organic matter %					
Carbon	2.7	1.6	—	—	—
Nitrogen	0.23	0.14	—	—	—
C/N	11.7	11.4	—	—	—
Total humic matter	2.1	1.3	0.8	—	—
Precipitable humic matter	1.8	0.7	0.6	—	—
Acidity pH	5.4	5.3	5.1	5.3	5.2
Absorbent complex meq. %					
Ca	0.70	0.65	0.60	0.90	0.95
Mg	0.70	0.20	0.10	0.10	0.20
K	0.11	0.08	0.07	0.08	0.08
Total phosphoric acid %	0.27	0.29	0.31	0.29	0.29
Iron content %					
Total iron	7.3	2.6	7.7	12.6	12.1
Free iron	4.0	4.9	4.3	7.0	6.9
Free iron : total iron	0.54	0.56	0.56	0.55	0.56

Organic matter content is low but is nevertheless quite humiferous (humus: OM # 0.5) being essentially composed of precipitable humic acid. The ensemble of results is expressed by the C:N ratio of over 11. However, the soil is lacking in reserves of organic matter which have been used up by many years of cultivation.

The absorbent complex is fairly saturated. Absolute amounts of calcium are low. On the other hand, magnesium, and to a still greater extent potassium, are relatively abundant. Cations, slightly leached in the A₂ horizon, accumulate at depth (about the 150 cm. mark). The only means of enrichment is by the bringing up to the surface, by the plants, of elements taken from the deep horizons. The slowing down of this mechanism by shortened cultural rotations explains the acidity of these soils (pH 5.4-5.1).

Total phosphoric acid content is very low.

Iron is present in extremely mobilisable form. There is marked accumulation at about 120 cm.

2.2.—HANENE village (Laghem)—date 29.6.57

Gently undulating surface relief.

Mid-point on a slope linking up with a low plateau.

Slope 2-3%.

Savanna parkland with *Cordyla africana*; fallow after groundnuts.

Description of profile

- 0- 25 cm.: grey brown — sandy — somewhat angular slightly hardened nutlike structure—unstable—porous.
- 25- 50 cm.: yellowish brown-grey—sandy—little developed structure of nutlike tendency—leached.
- 50- 85 cm.: yellowish brown, slightly reddened—sandy—little developed particulate structure—fairly porous—leached.
- 85-155 cm.: lighter yellowish brown—sandy, somewhat clayey—structure of massive polyhedral tendency—pseudo-sand—apparently fairly well drained—slight segregation of iron in the form of diffused patches and veining towards the bottom of the horizon.
- 155-210 cm.: very light yellowish brown—sandy clayey—a few well individualised slightly hardened (cut by fingernail) ferruginous patches—blended structure.
- 210 cm.: yellowish clayey sands (Terminal Continental).

Analytical results

	Depth in cm.			
	0-25	50-85	85-155	155-210
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	30.2	30.6	28.6	27.7
Fine sand	61.4	57.5	46.9	48.5
Silt	3.5	2.3	2.7	3.7
Clay	3.3	8.0	19.8	16.5
Organic matter	0.74	0.19	—	—
Organic matter ‰				
Carbon	4.3	1.1	—	—
Nitrogen	0.27	0.09	—	—
C/N	15.9	12.2	—	—
Total humic matter	3.2	2.2	—	—
Precipitable humic matter	0.9	0.6	—	—
Acidity pH	—	—	—	—
Absorbent complex meq. %				
Ca	1.6	0.7	0.9	0.75
Mg	0.5	0.4	0.6	0.4
K	0.11	0.09	0.08	0.11
Total phosphoric acid ‰	0.43	0.29	0.27	0.34
Iron content ‰				
Total iron	7.4	7.3	11.2	11.3
Free iron	4.3	4.5	6.3	6.7
Free iron : total iron	0.57	0.61	0.56	0.59

These data are characteristic. It is noted that the organic matter horizon has a very important influence on the various pedogenetic processes. Because the land has been more recently taken over for agriculture, the

original characteristics of the organic matter content are not masked: accumulation in a thin surface layer, richness in carbon, C : N ratio higher than 15, small amount of precipitable humic matter as compared with total humus, dark grey colour—these data denote evolution in a reducing acid medium in the rainy season. The soluble humiferous forms in which fulvic acid is predominant are the main leaching agents (coefficient nearly 5). The organic matter influence is evident in a better saturation of the absorbent complex at the surface (pH 6.0) and higher calcium, potassium and phosphoric acid contents. There is accumulation of cations in the B horizon. The organic matter content also has an effect on the mobilisation of iron.

This type of soil occurs frequently north of Gambia and in the Niombato and Laghem areas. It is to be found in Darou Pakatier—Thiare—N'Deneu—Taiba Manate—Keur Saete Ava—Keur Ali Bassine. The only morphological variations concern the colour of the humiferous horizon which becomes lighter under cultivation and the depth of the horizon with ferruginous patches which varies between 130 and 185 cm. The analytical data follow the variations in organic matter content. Generally speaking these soils are well drained even at the level of clay accumulation. Surface waterlogging is mainly the result of the intensity of rainfall.

Certain soils formed on sandy embankments deserve special mention as they are characterised by ferruginous accumulations in the form of sub-horizontal streaks. These processes are of frequent occurrence and have been observed at Salick and at Darou.

2.3.—DAROU (IRHO Station)—date 17.1.1953

2% slope leading to red soils plateau—firebreak at mid-slope.

Dense tree savanna—former 10-year fallow.

Description of profile

- 0–35 cm.: grey, slightly humiferous—fine sandy—particulate structure.
- 35–53 cm.: grey – yellowish brown — coarser sand — weakly developed nutlike structure—porous.
- 53–75 cm.: a little lighter in colour, diffused ferruginous streaks and patches—fine sand—blended structure tending to be particulate—poor cohesion—porous.
- 75–140 cm.: as above with four sub-horizontal lines of slightly indurated ferruginous accumulation.
- 140–160 cm.: very light in colour with a few diffused ferruginous streaks—sandy—little coherent.
- 160 cm.: rusty ochre with slightly hardened ferruginous streaks and patches—sandy clay.

Analytical results

	Depth in cm.					
	0-35	35-53	53-75	100-140	140-160	more than 160
Mechanical composition %						
Fine earth	100	100	100	100	100	100
Coarse sand	32.3	30.1	26.9	36.7	31.7	32.1
Fine sand	56.9	58.4	62.9	58.5	62.3	51.4
Silt	5.8	3.5	5.6	1.5	1.8	0.5
Clay	3.2	3.6	3.6	2.0	0.5	13.0
Organic matter	0.85	0.34	0.16	—	—	—
Organic matter ‰						
Carbon	4.9	2.0	—	—	—	—
Nitrogen	0.2	0.2	—	—	—	—
C/N	21.5	10.8	—	—	—	—
Humic matter	2.0	0.4	—	—	—	—
Acidity pH	6.6	6.4	6.5	6.6	6.5	7.0
Absorbent complex %						
Ca	1.68	1.43	0.50	0.29	2.0	3.42
Mg	0.40	0.4	0.4	0.4	0.74	1.00
K	0.15	0.15	0.15	0.13	0.15	0.17
Na	0.31	0.16	0.19	0.16	0.19	0.34
S	2.54	2.14	1.24	0.96	3.08	4.93
Total phosphoric acid ‰	0.67	0.67	0.69	0.65	0.61	0.39

The heterogeneousness of sand grain size distribution denotes banking up of sand with very marked leaching of cations at depth. The ferruginous streaks are probably explained by the micro-heterogeneousness of the deposited materials, the iron sesquioxides becoming immobilised in contact with coarser sediments.

When drainage slows down, the tendency to concretionary formation becomes more marked and the ferruginous patches become indurated—this indicates the transition to leached tropical soils with concretions.

2.4.—DAROU (IRHO Station)—date 17.1.53

Slight topographical depression.

Dense tree savanna.

Description of profile

0-45 cm.: grey-black, humiferous—fine sand—nutlike, tending to crumb structure—hard surface.

45-80 cm.: yellowish brown—sandy clay—well developed nutlike structure very hardened horizon.

80-120 cm.: yellowish brown ochre, a few small, hardened ferruginous concretions—rusty brown—clayey sand—poorly developed polyhedral structure—little porous (tubular pores)—good cohesion.

120-160 cm.: yellowish brown ochre with diffused weakly indurated ferruginous streaks and patches—more marked segregation, several ill-defined whitened zones—clayey sand,

fairly well developed nutlike to polyhedral structure—
tendency to warping.

160 cm.: mottled clay sandstones with slightly hardened ferruginous patches.

It is to be noted that induration begins first of all at the top of the segregation horizon.

Analytical results

	Depth in cm.				
	0-25	60-80	100-120	140-160	180
Mechanical composition %					
Fine earth	100	100	100	100	100
Coarse sand	17.4	14.3	15.5	15.4	15.1
Fine sand	65.5	51.8	55.2	48.8	57.2
Silt	3.2	2.4	2.4	5.0	3.7
Clay	7.6	27.6	24.4	29.4	22.8
Organic matter	0.83	0.38	—	—	—
Organic matter %					
Carbon	4.9	2.2	—	—	—
Nitrogen	0.25	0.29	—	—	—
C/N	19.2	7.6	—	—	—
Humic matter (C)	0.5	0.2	—	—	—
Acidity pH	6.5	6.5	6.1	5.4	5.7
Absorbent complex meq. %					
Ca	3.28	3.96	3.25	3.50	2.18
Mg	0.74	1.74	0.50	0.40	0.50
K	0.15	0.04	0.15	0.15	0.15
Na	0.26	0.36	0.40	0.21	0.19
S	4.43	6.10	4.30	4.26	2.96
Total phosphoric acid %	0.39	0.37	0.33	0.41	0.47

Enrichment in clay and cations is fairly marked at the bottom of slopes with leached ferruginous tropical soils. Temporary hydromorphism caused in the rainy season by the accumulation of runoff orients and determines the evolution of organic matter in a reducing medium (C : N $\approx$ 20) and favours lateral leaching of iron.

b) Yellowish brown soils with ferruginous concretions

The yellowish brown soils with concretions occur in areas of reduced drainage: low plateaux, slope bottoms, topographical depressions. They are also frequently observed near cuirass outcrops or red ferrallitic soils. They mark a supplementary degree of leaching as compared with the preceding soils. Thus they represent a second stage in the evolution of the group: leached ferruginous tropical soils with concretions. Little developed to the N.W. of Gambia these soils are widespread to the East and S.E., mainly in Middle and Upper Casamance.

2.5.—Village of MACCA (Laghem)—date 30.5.57

Topographical depression dominated by a cuirass scarplet.

Degraded tree savanna with *Cordyla africana*, *Combretum glutinosum* and *Eliotti*. Groundnuts fallow.

Description of profile

- 0-30 cm.: grey-dark brown—sandy—little structured, angular to particulate aggregates—compressed horizon but with large tubular pores—hardened—good cohesion.
- 30-60 cm.: ochre yellowish brown—sandy—nutlike slightly angular structure—hardened—very good cohesion.
- 60-105 cm.: light yellowish brown—sandy clay—little developed structure of polyhedral tendency—good cohesion—tubular pores.
- 105-145 cm.: whitened horizon—action of suspended temporary water table—sandy clay—numerous distinctly individualised fairly indurated but easy to cut black patches and concretions.
- 145-165 cm.: horizon with concretions—numerous brown ferruginous and black manganiferous pisolites, these latter being smaller and rounder—more or less diffused black and red patches in whitened clayey sand filling.
- 165-186 cm.: mottled horizon—less numerous hardened black patches and concretions—clayey—well developed polyhedral structure—transition to the clayey sands of the Terminal Continental.

Analytical results

	Depth in cm.					
	0-30	40-60	80-105	125-145	145-165	165-185
Mechanical composition %						
Fine earth	100	100	100	100	100	100
Coarse sand	18.5	20.6	15.7	15.5	15.3	13.6
Fine sand	66.2	57.4	47.5	48.4	48.6	51.5
Silt	5.0	4.7	5.5	5.2	6.0	6.7
Clay	8.3	15.0	28.8	28.3	28.0	26.5
Organic matter	0.93	0.38	—	—	—	—
Organic matter %						
Carbon	5.4	2.2	—	—	—	—
Nitrogen	0.44	0.22	—	—	—	—
C/N	12.2	10.0	—	—	—	—
Total humic matter	2.7	1.1	—	—	—	—
Precipitable humic matter	2.5	—	—	—	—	—
Acidity pH	6.6	6.5	5.2	5.5	5.8	6.1
Absorbent complex meq. %						
Ca	2.0	1.9	2.1	2.0	2.0	2.1
Mg	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1
K	0.41	0.09	0.12	0.14	0.14	0.14
Total phosphoric acid %	0.45	0.47	0.25	0.31	0.25	0.31
Iron content %						
Total iron	9.2	8.7	12.0	—	26.0	18.3
Free iron	5.7	5.6	6.9	15.0	16.0	11.5
Free iron : total iron	0.61	0.64	0.79	—	0.76	0.62

This soil is much clayier than the preceding ones (25 to 30% clay compared with 7 to 15%). The coefficient of leaching is lower (less than 4) but clay accumulation is greater in absolute terms and takes place throughout a greater thickness. There is also a certain contradiction between the thickness of the leached horizons and the extent of illuviation of fine material. This contradiction is only apparent in this type of soil which is very sensitive to water erosion and usually scoured away at the surface. The profile is generally truncated. Fine sand predominates over coarse sand. Combined with the clayey nature of the sediments this results in an ensemble with defective drainage.

In connection with this fact a marked increase is noted in the organic matter content which is about 1% in the surface horizon. Placing under cultivation has led to favourable evolution of organic matter content—ratio humus : organic matter greater than 30, predominance of precipitable humus, C : N about 11.

These data are to be compared with the figures for surface pH (6.6–6.5) which is excellent for this region. pH quickly drops to 5.2 in the leached horizon and then quickly rises at the level of illuviation.

A study of the absorbent complex completes these results. The sum of exchangeable cations is greater than 3.5–4 millequivalents %, and this is excellent for a ferruginous soil in Senegal. Calcium attains 2 meq %. Potassium content is high in the surface horizon.

The amount of phosphoric acid is always small—0.45% of total P_2O_5 in the surface horizon. This indicates the primordial role played by organic matter in the evolution of these soils.

Iron occurs in extremely mobile form and determines the extent of ferruginous segregation which provokes concretioning.

The following profile, in which immobilisation of iron and manganese is less marked, provides the link between the leached ferruginous tropical soils with ferruginous patches.

2.6.—Village of COKI-NABO (Laghem)—date 30.5.59

Flat area.

Fallow vegetation essentially grass.

Description of profile

- 0–35 cm. : dark grey-brown—sandy—beginnings of nutlike structure much worked by insects—average cohesion, somewhat hardened—large tubular pores.
- 35–65 cm. : fairly light greyish brown—sandy—fairly well developed nutlike structure—poor cohesion—tubular pores.
- 65–150 cm. : ochre-yellow—enriched in clay—weakly developed structure—diffused ferruginous patches—horizon somewhat warped—low porosity.

150–180 cm. : ochre-yellow, but very concreted, with well individualised hardened ferruginous and manganiferous concretions in sandy clay banks.

180 cm. : transition to clayey Terminal Continental sandstone.

Analytical results

	Depth in cm.			
	0–35	40–65	120–150	160–180
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	32·6	33·6	33·5	35·6
Fine sand	49·7	42·2	36·8	37·2
Silt	7·2	7·2	4·2	3·7
Clay	8·5	15·3	22·8	20·8
Organic matter	0·90	0·34	—	—
Organic matter %				
Carbon	5·2	2·0	—	—
Nitrogen	0·40	0·19	—	—
C/N	13·0	10·5	—	—
Total humic matter	2·8	0·7	—	—
Precipitable humic matter	1·8	—	—	—
Acidity pH	6·4	6·5	6·1	6·1
Absorbent complex meq. %				
Ca	2·2	1·8	1·6	1·4
Mg	0·7	0·6	0·9	0·9
K	0·21	0·13	0·11	0·10
Total phosphoric acid %	0·31	0·27	0·31	0·34
Iron content %				
Total iron	10·3	12·7	15·5	15·6
Free iron	6·2	8·0	9·2	9·2
Free iron : total iron	0·60	0·63	0·59	0·59

The characteristics of the preceding profile are found again here. The variations of greatest consequence concern a smaller amount of less mobile iron.

2.7.—SEFA (CGOT) Casamance

Limit UC 1, UC 2.

Surface relief—low plateau.

Tree savanna with *Bombax* and *Cordyla*. Uncultivated.

Description of profile

0–15 cm. : grey (H 41—Cayeux expolar code)—sandy, fine, well developed nutlike structure—porous—abundant root hair.

15–30 cm. : the same but lighter or browner in colour—more massive structure.

30–50 cm. : H 42—sandy clay—well developed nutlike structure—average cohesion—very porous—numerous herbaceous roots

- 50-103 cm.: D 43 lighter coloured in the upper part—brown ochre sandy clay—little developed fairly coarse polyhedric structure with many pores, mainly tubular—poor cohesion—leached.
- 103-130 cm.: yellowish brown (D 54)—some light grey patches—a few somewhat hardened fairly well individualised ferruginous patches and concretions—clayey sand—little marked polyhedric structure—pseudosand—fairly porous.
- 130-155 cm.: yellowish brown (D 52) some ill-defined white patches, rusty ochre patches and concretions—clayey sand—fairly massive polyhedric structure—little porous, tendency to warping.
- 155-220 cm.: ochre yellowish brown (D 56) with a few light grey patches—well defined but only slightly hardened red (D 38) ferruginous concretions—clayey sand—massive polyhedric structure—good cohesion.
- 220 cm.: lighter (C 43) with whitish patches, numerous rusty (S 36) and red (E 26) ferruginous concretions—clayey sand—massive structure tending to be slightly polyhedric—little porous—transition to Terminal Continental.

Analytical results

	Depth in cm.					
	0-15	30-50	80-100	110-130	130-155	200-220
Mechanical composition %						
Fine earth	100	100	100	98	87	72
Coarse sand	31.3	22.3	24.1	19.5	18.6	17.0
Fine sand	50.6	41.6	40.5	33.3	34.9	35.9
Silt	4.8	3.9	3.1	8.1	5.4	8.2
Clay	9.8	17.5	29.0	37.3	37.8	37.8
Organic matter	1.33	0.54	—	—	—	—
Organic matter ‰						
Carbon	7.7	3.1	—	—	—	—
Nitrogen	0.41	0.25	—	—	—	—
C/N	18.8	12.4	—	—	—	—
Humic matter (C)	0.7	0.2	—	—	—	—
Acidity pH	6.5	6.0	5.0	5.2	4.75	4.9
Absorbent complex meq. %						
Ca	2.50	2.00	1.78	1.68	1.82	2.24
Mg	0.5	0.7	0.7	0.7	1.0	1.0
K	0.11	0.04	0.13	0.13	0.15	0.13
Na	0.06	0.18	0.58	0.23	0.13	0.50
S	3.17	2.96	3.23	2.78	3.10	3.87
Total phosphoric acid ‰	0.40	0.30	0.37	0.40	0.41	0.37

The somewhat more accentuated topography to the west of Casamance provokes deeper and more diffused concretioning in connection with the accumulation of clay. Furthermore, the soils show a distinct tendency to transition towards the red soils.

On the other hand, in the east of this region the horizon with concretions is individualised to a lesser depth towards Pata, towards Kolda and around Velingara. More intense, more concentrated concretioning always corresponds to profiles of lesser thickness.

Special mention must be made of a quite uncommon, light coloured soil found in Lower Casamance, south of Oussouye. This soil, which has developed on a recent landform, appears to be strongly leached, nevertheless it presents all the characteristics of a yellowish brown slightly ferrallitic soil.

In particular, the general impoverishment of the deep horizons is to be opposed to the enrichment of the surface horizons by semi-moist forest type vegetation. It is probable that the protection against drying provided by the tree canopy, and the lack of insolation in the undergrowth, preclude variations in soil moisture and favourise deep internal waterlogging which begin cuirass formation by watertable action.

2.8.—Forest of OUKOUTE—South of Ossouye

Slight topographical depression.

Semi-moist forest with *Erythrophleum* and *Parinari*—classified forest.

Description of profile

- 0—6 cm.: light grey, humiferous, covered by a litter of decomposing leaves and twigs—fine sand—fine, well developed crumb structure, especially at the surface.
- 6—55 cm.: yellowish grey-brown—fine sand—more massive structure of nutlike tendency—fairly compact.
- 55—150 cm.: pinky yellowish brown—sandy—no pseudosand—little developed structure, porous.
- 150—200 cm.: the same but segregation in the form of red ferruginous streaks sometimes hardened and well delimited—mottled clay appearance—sandy clay—fairly well developed structure of polyhedric tendency—less porous.
- 200—250 cm.: more numerous hardened red concretions—segregation into lighter coloured almost white patches—general yellowish appearance—sandy clay—polyhedric structure.

Analytical results

	Depth in cm.								
	0-3	5-10	12-35	50-120	140	170	210	270	320
Mechanical composition %									
Fine earth	100	100	100	100	100	100	100	97	93
Coarse sand	7.6	11.9	14.7	15.6	11.7	14.6	15.2	15.9	13.7
Fine sand	70.5	67.9	68.3	56.3	54.8	55.9	56.8	57.3	58.3
Silt	6.9	4.5	3.6	4.3	5.5	3.9	4.9	5.8	8.5
Clay	8.9	8.9	11.4	23.5	25.0	24.0	22.1	21.7	19.0
Organic matter	3.9	2.1	1.1	—	—	—	—	—	—
Organic matter ‰									
Carbon	22.6	12.1	6.5	—	—	—	—	—	—
Nitrogen	1.0	0.8	0.34	—	—	—	—	—	—
C/N	22.2	15.0	19.0	—	—	—	—	—	—
Humic matter (C)	0.8	0.9	0.2	—	—	—	—	—	—
Acidity pH	5.5	5.2	4.3	4.7	4.0	3.9	4.4	4.2	3.9
Absorbent complex meq. %									
Ca	2.85	1.71	0.72	0.41	0.59	0.59	0.41	0.41	0.50
Mg	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.74	0.50	0.40	0.74
K	0.21	0.15	0.15	0.11	0.13	0.11	0.11	0.15	0.15
Na	0.18	0.06	0.10	0.06	0.29	0.38	0.25	0.52	0.58
S	4.24	2.92	1.97	1.08	1.51	1.83	1.23	1.48	1.97
Total phosphoric acid ‰	—	0.41	0.37	0.40	0.41	0.37	0.41	0.40	0.41
Loss on fire	4.8	3.3	2.1	—	4.0	3.3	3.1	3.1	3.0

3.—Leached ferruginous soils with cuirass formation

These soils represent the ultimate stage of evolution of the group. The individualisation and the concentration of iron, and sometimes of manganese as well, are sufficiently intense to provoke the formation of a cuirass horizon.

These soils are situated on the oldest topographical features in poorly drained basins, along the axes of drainage channels and of plateaux enriched in hydroxides by lateral drainage. The poorness of the original material in iron and manganese does not explain the constitution of indurated horizons by the vertical movement of soil solutions alone. The distribution of soils of this type in a given area demonstrates the importance of the external contribution (M. MAIGNIEN, 1958).

The mechanisms contributing to the setting in place of these formations enable a distinction to be made between two small groups :

—action of a temporary hydrostatic level :

Plateau type leached ferruginous soils with cuirass formation.

—action of lateral leaching process :

Slope bottom type leached ferruginous soils with cuirass formation.

Though very attractive this classification is none the less too academic because the evolution of leached tropical soils makes for sub-horizontal morphogenesis and the two pedogenetic processes act jointly in cuirass formation. The first of these groups predominates in the centre of flat areas, the second along the edges of breaches in the surface relief. The first is mainly characterised by pisolithic structure, the second by laminated structure. But transition from one to the other of these facies is frequent. They are often associated, sometimes even superimposed, the cuirass formation favourising its own development.

Plateau type leached ferruginous soils with cuirass formation are largely found in East Senegal, in Middle and Upper Casamance, and in the Tambacounda area.

3.1.—GOUDIRY—5 kilometre post Tambacounda road

Very flat surface relief—numerous small poorly drained basins—Sudanese tree savanna with bamboo undergrowth.

Description of profile

- 0– 30 cm.: grey black, fairly rich in organic matter—sandy slightly clayey—little developed tendency to crumb structure—not very stable, fairly massive—abundant root hair in the top inch or two.
- 30– 62 cm.: whitish grey—fine sand—strongly leached—non-structured, flourlike.
- 62– 85 cm.: yellowish brown ochre with more or less diffused slightly hardened ferruginous streaks and patches—clayey sand—well developed nutlike structure—pseudo-sand.
- 85–150 cm.: rusty ochre horizon with concretions—numerous indurated ferruginous pisolites, more or less partially cemented in the cuirass—the lot in the middle of clayey sandy material.
- 150 cm.: gradual transition to Terminal Continental clayey sandstone with a few large indurated ferruginous cores at the top.

Slope bottom type leached ferruginous soils with cuirass formation also occur frequently but are generally less extensive. They are at the origin of most ferruginous cuirasses cropping out along the edge of topographical flaws and representing an extremely characteristic relief of scarplets in the form of a staircase. This type of cuirass formation takes place at varying depths which are a function of the installation of more or less temporary hydrostatic levels and sometimes even of veritable permanent watertables.

3.2.—DAROU (IRHO Station)—date 17.1.1953

Southern extremity of the concession.

Poorly drained area where water accumulates during the rainy season.

Tree savanna with great *Andropogonae*.

Description of profile

- 0– 50 cm.: grey black—very humiferous—sandy clay—well developed nutlike structure with large aggregates—macrostructure tending to be prismatic—pseudo-sand—average cohesion—fairly porous—numerous herbaceous roots.
- 50– 90 cm.: fairly light grey—yellowish brown—clayey sand—

coarse prismatic structure—good cohesion—numerous tubular pores.

90–160 cm.: light yellowish brown with numerous well delimited, very indurated rusty concretions partially cemented into the cuirass—concretioning takes place mainly in the sandier patches—banking up of clayey sand—ill-defined polyhedric to nutlike structure.

160 cm.: fairly similar but with numerous rusty-ochre fairly indurated streaks becoming more diffused at the base and passing to Terminal Continental material—little developed polyhedric structure.

Analytical results

	Depth in cm.			
	0–20	60–80	100–120	160
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	—	100
Coarse sand	21.3	14.6	18.4	20.8
Fine sand	61.6	49.6	54.3	57.4
Silt	8.0	3.4	2.4	7.3
Clay	9.7	31.2	24.6	16.1
Organic matter	1.3	0.4	0.2	—
Organic matter ‰				
Carbon	7.3	2.3	—	—
Nitrogen	0.44	0.38	—	—
C/N	17.7	—	—	—
Humic matter (C)	1.0	0.3	—	—
Acidity pH	6.6	5.5	5.3	5.2
Absorbent complex meq. %				
Ca	4.3	5.5	4.5	3.2
Mg	1.0	1.5	1.0	0.4
K	0.06	0.06	0.12	0.06
Na	0.02	0.02	0.09	0.02
S	5.4	7.2	5.7	3.7
Total phosphoric acid ‰	0.54	0.57	0.54	0.59

Cuirass formation is not very marked in this example and it can be much more intense.

At **Kera Modi Salla**, in a slight topographical depression and under a six to eight year fallow with a fairly dense stand of *Combretum glutinosum* and *Eliotii* mixed with *Lannea macroptera*, *Cordyla africana*, *Anogeissus leiocarpus* and *Sterculia setigera*, the profile of a leached ferruginous tropical soil reveals a brown-black strongly indurated ferruginous cuirass of alveolar structure at a depth of 130 cm. The thickness of the cuirass horizon exceeds 100 cm. Its morphology is typical of that produced by the action of a temporary watertable.

At **Matar Sakho**, bordering a main “drainage channel”, a brown alveolar strongly indurated ferruginous cuirass takes on individual characteristics between 75 and 200 cm. At **Latemingue**, similar individualisation takes place at 80 cm.

However, the process of cuirass formation may also be imposed outside the pedological horizons. The iron mobilised in the surface horizons emigrates downwards until it reaches the level of the water table. It then tends to become immobilised at the maximum level attained by the watertable. Thus, sometimes two levels, or even more, of superimposed cuirassed formation, corresponding to several hydrostatic or temporary levels or to several drops in the original level of the watertable, are to be observed. The genesis and position of cuirass formation resulting from watertable action is thus profoundly different from plateau cuirass formation. In this latter case, the cuirass horizons which develop on the various forms of surface relief always occur together in "nests".

3.3.—GUERINA—Agricultural Research Station—Lower Casamance

Bordering a well-drained low plateau.

Forest savanna with transition to xerophyte forest.

Description of profile

- 0- 45 cm.: blackish grey becoming lighter at about 30 cm., fairly humiferous—sandy clay—well developed nutlike structure tending to become crumblike at the surface—slightly hardened—fairly packed.
- 45- 80 cm.: yellowish brown—sandy—little structured tending to nutlike—porous because of pseudosand.
- 80-120 cm.: slightly reddened yellowish brown with rusty mottling—sandy, slightly clayey—little developed polyhedric structure—a few small, hardened concretions—rusty brown.
- 120-160 cm.: yellowish brown ochre with slightly hardened ferruginous streaks and patches—more or less well individualised—a few diffused whitish patches—sandy clay to clayey sand—little developed coarsely nutlike to prismatic structure.
- 160-350 cm.: Terminal Continental clayey sandstone facies, towards the bottom anastomosis of ferruginous patches results in large fairly hard concretions.
- 350-425 cm.: fairly indurated cuirass horizon—flattened alveolar structure—rusty brown ferruginous skeleton cementing quartz grains—alveoli containing sandier greyish white material.
- 425-500 cm.: sharp transition at a former watertable level (dry well)—very sandy horizon—whitened—tapped dry.
- 500 cm.: clayier Terminal Continental.

R. FAUCK (1955) notes two superimposed cuirasses between 11-15 metres and 27-29 metres on the CGOT holdings at Sefa. He explains them as being ferruginous cuirasses of fossil watertables. "These two cuirasses

are doubtless caused by successive drops in watertable level during the Quaternary period, the sandstone layers at 24 and 40 metres serving as a basis and as parent rock by their enrichment in iron."

Apart from the process of ferruginisation which favours the individualisation of iron, this type of cuirass formation is independent of soil type. The same mechanism is to be observed in slightly ferrallitic red soils where it is again linked with the base level of more or less temporary watertables: Agricultural Research Station at Djibelor—Falaise de Varela (Portuguese Guinea).

The intense water erosion (F. FOURNIER, 1959) results in scouring away of the loose surface horizons. The indurated formations crop out. They give rise to the cuirassed plateaux ("bovalisation") frequent in the east of Senegal. These ferruginous cuirasses differ profoundly from lateritic cuirasses by the absence of free aluminium, the presence of non-weathered quartz, their high density and their dark colour (rusty brown to brown-black). They are generally accompanied by mangiferous accumulations in the form of patches and rounded concretions.

If the cropping out of cuirasses resulting from pedogenetic processes which individualise ferruginous tropical soils can be linked with contemporary anthropic activity, the cropping out of deep watertable cuirasses mainly results from more ancient and more sustained morphogenetic processes. F. FOURNIER (1959) notes annual soil loss to a depth of 0.5 to 1 cm. at Sefa. Thus the cropping out of a cuirass individualised at a depth of 1 metre requires 100 to 200 years' cumulated erosional action. In the case of cuirasses formed as a result of watertable action the process of cropping out takes about a thousand years.

II.—THE RED SOILS

The red soils are characterised by a uniform red-coloured little differentiated profile of more than 250–300 cm. in thickness and by the absence of concretionary or cuirass formation processes. Red gravelly soils are to be observed however, but these are neo soils on cuirasses.

The red soils or "terre de barre" are typical of the **slightly ferrallitic soils**. They constitute a homogeneous entity. The differentiations within the group only concern the surface humiferous horizon, the intensity of colour, and certain processes of regressive evolution to ferruginous tropical soils in intensely cultivated areas where annual rainfall is less than 1,100 mm.

In the presence of yellowish brown soils the red soils are exclusively situated on plateaux summits approximately on the line of watershed. Where this is the case the yellowish brown soils are individualised on the slopes. This markedly characterised soil chain suggests a certain drainage effect on soil distribution. However, more thorough study shows that it is essentially a question of age and duration of evolution. At the limit, the red soils are always distributed on older forms of relief than the yellowish brown

soils. Moving further to the S.W., i.e. towards the wetter regions, it is noted that little by little the red soils predominate over the yellowish brown soils and finally invade all the forms of surface relief in normal drainage position.

1.—DAROU (IRHO Station)—Laghem—date 17.1.53

Plateau summit.

Dense tree savanna—former fallow.

Description of profile

- 0-40 cm.: grey-yellowish brown, slightly humiferous, fine sand—particulate structure of coarse nutlike tendency—poor cohesion—porous.
- 40-85 cm.: pinky grey tinged yellowish brown—gradual transition—sandy—fairly well-developed nutlike structure—pseudosand—fair cohesion—porous.
- 85-150 cm.: red, somewhat clayier but still sandy—nutlike structure—pseudosand—stronger cohesion—porous.
- around 200 cm.: transition over a thickness of 100 cm. to clayey Terminal Continental sandstone mottled by ochre coloured and rust coloured patches and sometimes indurated streaks.

Analytical results

	Depth in cm.			
	0-20	50-75	100-120	180
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	26.9	25.5	26.4	18.8
Fine sand	64.8	60.7	53.8	56.4
Silt	1.4	1.9	4.3	4.9
Clay	3.3	3.5	14.9	19.3
Organic matter	0.55	0.20	—	—
Organic matter ‰				
Carbon	3.2	1.2	—	—
Nitrogen	0.21	0.15	—	—
C/N	15.2	7.8	—	—
Humic matter (C)	0.5	0.3	—	—
Acidity pH	6.15	6.1	5.7	5.9
Absorbent complex meq. %				
Ca	0.64	1.00	1.36	2.18
Mg	0.4	0.4	0.4	0.4
K	0.15	0.15	0.15	0.17
Na	0.10	0.15	0.27	0.15
S	0.93	0.70	1.82	2.90
Phosphoric acid ‰	—	—	—	—

2.—Village de DRAME—Keur Madiabel—Sokone route

Low plateau.

Recently cleared—Savanna forest with *Cordyla africana* in a mixture

with *Detarium senegalense*, *Parkia biglobosa*, *Terminalia macroptera*, *Combretum glutinosum*, *Heeria insignis*, *Anona senegalensis*, etc.

Description of profile

- 0-10 cm.: grey brown, little humiferous—sandy—well developed average size nutlike structure—fairly porous.
 10-50 cm.: brown red—sandy—less developed coarse nutlike tending to angular structure—very porous—apparently leached.
 50-85 cm.: red—sandy—little structured, blended, hardened—pseudosand—porous.
 85-180 cm.: pure red—sandy, somewhat enriched in clay—coarse, little developed somewhat horizontally flattened nutlike structure—pseudosand—porous.
 180 cm.: reddish yellow (Terminal Continental) clayey sands.

Analytical results

	Depth in cm.			
	0-10	10-50	50-85	150-180
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	38.6	33.3	29.2	34.3
Fine sand	55.6	58.8	61.1	53.5
Silt	1.7	1.7	1.7	1.7
Clay	4.0	4.0	5.8	8.5
Organic matter	0.74	0.33	—	—
Organic matter %				
Carbon	4.3	1.9	—	—
Nitrogen	0.25	0.15	—	—
C/N	17.2	12.6	—	—
Total humic matter	3.7	1.4	—	—
Precipitable humic matter	3.1	0.8	—	—
Acidity pH	6.2	6.0	6.0	6.0
Absorbent complex meq. %				
Ca	1.7	1.1	0.8	0.8
Mg	0.5	0.2	0.7	0.2
K	0.11	0.08	0.06	0.12
Total phosphoric acid %	0.31	0.20	0.22	0.25
Iron content %				
Total iron	6.7	8.0	9.4	13.7
Free iron	4.5	5.5	6.4	9.9
Free iron : total iron	0.66	0.69	0.67	0.72

Apart from a sandier texture and a lower coefficient of clay leaching (# 2) most of the analytical characteristics of this soil are very similar to those of leached ferruginous tropical soils with concretions. The organic matter content is of very great importance in the various factors of its fertility. However, it differs from the preceding soils by its colour, by its excellent internal drainage favoured by the presence of pseudosands, by its better resistance to erosion and by its pH well buffered at depth. Although of well-typed morphology, this soil marks a stage in the evolution towards the ferruginous soils. This tendency is still more marked to the east in East Laghem.

3.—SEFA (Casamance)

Route to Diaroumé—100 m. north of the crossing with route 4 UC i.
Flat surface relief (low plateau).

Savanna forest with *Pterocarpus erinaceus*, *Kaya senegalensis*, *Prosopis africana*, *Daniella oliveri*.

Description of profile

- 0–12 cm.: brown-grey (H 32) considerable amounts of carbonaceous debris and poorly decomposed leaf debris at the surface—a good deal of root hair—sandy slightly clayey—fairly well developed crumb structure—poor cohesion—porous.
- 12–28 cm.: brown (H 43)—sandy—fairly well developed nutlike structure—average cohesion—porous.
- 28–55 cm.: red (F 38), hardened—sandy clay—coarse nutlike somewhat angular structure—pseudosand—fair to good cohesion—porous.
- 55–90 cm.: darker red (H 18) hardened—clayey sand—more angular nutlike structure—pseudosand—good cohesion—high porosity.
- 90–200 cm.: red (F 18) clayey sand—ill-defined segregation in the form of non-hardened concretions—little defined structure ranging from nutlike to polyhedral.
- 200 cm.: gradual transition to clayey Terminal Continental sandstone, as yet little marked whitish grey streaks and patches.

These red soils are very common on the plateaux between Kolda and Sedhiou. They represent the bulk of the soils in Boudhié forest between Sedhiou and Bignona, in Diagoun forest west of Bignona between Bignona and Inor, in Bissim and Sanick forest south of Casamance, to the east of

Analytical results

	Depth in cm.							
	0–12	12–28	30–55	75–90	180–200	250–280	320–350	480–500
Mechanical composition %								
Fine earth	100	100	100	100	100	100	100	100
Coarse sand	36.4	39.9	34.4	30.1	24.2	19.1	18.2	16.9
Fine sand	45.2	45.3	31.2	24.8	24.2	28.6	30.6	31.5
Silt	4.3	4.2	3.7	6.0	9.6	9.2	11.1	10.3
Clay	11.4	8.5	26.7	37.0	36.0	35.1	38.2	38.6
Organic matter	2.7	1.1	0.6	0.6	—	—	—	—
Organic matter %								
Carbon	15.4	6.4	3.6	—	—	—	—	—
Nitrogen	0.82	0.42	0.19	—	—	—	—	—
C/N	18.8	15.2	—	—	—	—	—	—
Humic matter (C)	1.3	0.4	0.2	—	—	—	—	—
Acidity pH	6.3	6.25	5.02	4.8	5.05	5.0	4.9	5.0
Complex absorbent meq. %								
Ca	3.07	1.00	0.46	0.64	0.64	0.46	0.57	0.82
Mg	1.49	1.00	0.74	0.74	< 0.40	< 0.40	< 0.40	—
K	0.15	< 0.04	0.15	0.15	0.13	0.13	0.13	—
Na	0.06	0.06	0.19	0.29	0.15	0.08	0.37	—
S	4.77	< 2.10	1.54	1.82	< 1.32	< 1.07	< 1.47	—
Total phosphoric acid %	0.42	0.35	0.42	0.42	0.35	0.35	0.35	0.35

Ziguinchor and south of Oussouye (G. AUBERT, J. DUBOIS, R. MAIGNIEN, 1946).

The red soils of Casamance are generally better typed than those in the north of British Gambia. In East Laghem, which is much drier, the red soils present signs of disequilibrium which bring them closer to the ferruginous tropical soils. They become lighter in colour whilst clay leaching is more marked. Porosity diminishes.

4. Village of THIARACK (East Laghem)—date 29.6.57

—Somewhat undulating low plateau.

—Area much cropped to groundnuts.

Description of profile

0-15 cm.: greyish yellow-brown, little humiferous—sandy—little developed fine nutlike to crumb structure—poor cohesion—average porosity.

15-60 cm.: brown-red—sandy—coarse nutlike structure—well developed pseudosand—porous.

60-180 cm.: red—slightly enriched in clay—abundant pseudosand—well developed nutlike structure—good porosity.

180 cm.: lighter coloured — yellowish — clayey sandstony material—transition to Terminal Continental.

The analytical results all strikingly confirm the degradation of this red soil. The ferrallitic soils are typically forest soils. Their use for annual

Analytical results

	Depth in cm.			
	0-15	40-60	100-120	180
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	34.4	32.5	29.0	29.4
Fine sand	58.1	50.6	43.1	45.0
Silt	2.7	2.5	4.0	3.2
Clay	2.5	11.5	21.5	18.8
Organic matter	0.36	0.26	—	—
Organic matter ‰				
Carbon	2.1	1.5	—	—
Nitrogen	0.16	0.16	—	—
C/N	13.1	9.4	—	—
Total humic matter	2.9	2.7	—	—
Precipitable humic matter	1.1	0.8	—	—
Acidity pH	6.0	5.4	4.8	5.1
Absorbent complex meq. ‰				
Ca	0.55	0.7	0.75	0.7
Mg	0.4	0.1	0.2	0.4
K	0.08	0.06	0.06	0.06
Total phosphoric acid ‰	0.18	0.22	0.29	0.22
Iron content ‰				
Total iron	5.6	9.4	12.5	13.4
Free iron	2.8	6.4	8.1	7.7
Free iron : total iron	0.50	0.67	0.64	0.57

crops provokes retrogradation of most of the factors of fertility: marked leaching of clay, degradation of organic matter, lowering of pH, loss of lime, potassium and phosphoric acid.

Evolution towards leached ferruginous tropical soils is still more marked in the following profile.

5.—Village of FASS

Summit of a low plateau.

Deteriorated vegetation with *Cordyla*, *Combretum* and *Gueira*—groundnuts fallow.

Description of profile

- 0–25 cm.: grey–dark yellowish brown—sandy—little developed nutlike to crumb structure—slightly hardened—little porous.
- 25–55 cm.: ochre slightly mottled by darker coloured streaks—sandy—coarse nutlike structure—hardened—good cohesion—fairly porous with large tubular pores.
- 55–95 cm.: darker ochre—sandy slightly enriched in clay—little developed nutlike to polyhedral structure—pseudo-sand—average cohesion—porous.
- 95–165 cm.: slightly reddened yellowish brown ochre—fairly developed sandy clay structure tending to be coarsely polyhedral—poor to average cohesion—less porous.
- 165 cm.: clayey sandstone Terminal Continental.

Analytical results

	Depth in cm.			
	0–25	35–55	75–95	140–160
Mechanical composition %				
Fine earth	100	100	100	100
Coarse sand	17.5	22.0	22.0	24.0
Fine sand	74.2	66.1	59.7	55.0
Silt	2.7	1.5	2.5	2.5
Clay	4.8	9.0	14.3	15.8
Organic matter	0.6	0.2	—	—
Organic matter %				
Carbon	3.3	1.1	—	—
Nitrogen	0.22	0.10	—	—
C/N	15.0	11.0	—	—
Total humic matter	2.3	1.4	—	—
Precipitable humic matter	1.1	—	—	—
Acidity pH	6.0	6.0	5.4	5.3
Absorbent complex meq. %				
Ca	1.3	0.8	0.8	1.0
Mg	0.6	0.7	0.7	0.9
K	0.14	0.08	0.10	0.08
Total phosphoric acid %	0.18	—	0.27	0.31
Iron content %				
Total iron	9.0	10.4	10.5	9.5
Free iron	3.8	4.0	4.6	4.7
Free iron : total iron	0.42	0.38	0.43	0.49

The evolution here shows a more marked tendency to the immobilisation of iron.

The morphological and analytical data concerning the red soils north of Gambia denote a characteristic evolution towards the ferruginous tropical soils. This confirms their climatic instability in relation to drier contemporary pedogenetical factors. These soils go back to a somewhat wetter past period (R. MAIGNIEN, 1960). This degradation, whether due to climatic change or undisciplined use of the soil, in no case provokes ferruginous concretionary formation. Nevertheless, red soils with cuirass formation are to be observed. But apart from lithosols formed on cuirass outcrops, such cuirass formation usually takes place at more or less considerable depth at watertable level. Thus such cuirassing is not linked with the specific pedogenetic processes of slightly ferrallitic red soils. Due to the characteristics of the material in which the cuirass formation becomes individualised (here slightly ferrallitic) these cuirasses sometimes present the composition of ferrallitic cuirasses despite the fact that their setting in place was not imposed by phenomena of ferrallitisation. Ferrallitic characteristics are residual whereas cuirass formation is of absolute type (J. D'HOORE, 1954).

III.—DISCUSSION AND CRITICISM OF RESULTS

A comparison of the morphological and analytical data concerning yellowish brown soils and red soils brings out their common and differential characteristics. Criticism of the results should make it possible to define the limits separating these two types of soil.

1. Morphology

1.1. Depth of profile

The red soils are much deeper than the yellowish brown soils. Profile depth of the former type exceeds 250 to 300 cm. whilst that of the second type varies between 150 and 175 cm.

1.2. Colour of profile

The colour of the profile is one of the most obvious characteristics of differentiation. The yellowish brown soils are always much lighter in colour than the red soils. The dominant colour is between 10 and 7/5 YR on the Munsell Chart for the yellowish brown soils. It is between 2.5 and 5 YR for the red soils.

1.3. Differentiation of the profile

The yellowish brown soils are characterised by a well developed profile with distinct horizons. The A and B textural horizons are clayey. The

profile of the red soils is little differentiated, the humiferous horizon gradually changing to horizons which become more and more markedly red. Variations in texture between the surface horizon and the deeper horizons are essentially due to reworking at the surface as a result of erosional processes. There is no B textural but there is sometimes a (B) structural horizon.

1.4. Movement of iron

The yellowish brown soils show a very marked tendency to concretionary and cuirass formation. They are often warped. The red soils on the other hand are always mellower and more porous. The iron is distributed throughout the profile and contributes to the formation of pseudo-sand. There is no tendency to either concretionary or cuirass formation.

2. Analytical characteristics

2.1. Texture

The texture of the yellowish brown soils and the red soils is connected with the characteristics of the parent material which is more or less coherent clayey sandstone. 90% of the quartzous sand grains are between 60 and 350 microns whilst 2% remain on the 1 mm. sieve and 0% on the 2 mm. sieve. About 70% of it belongs to the fine sand category (20–200 μ). Sieving reveals two distinct maxima—one about 110 and the other about 250 μ (R. FAUCK, 1955). Grains corresponding to the first of these maxima are small and angular whilst those of the second are rounded, cracked, and often corroded (P. MICHEL, 1960). These grains are covered or not covered with a ferruginous film.

Silt content (2–20 μ) is always low (less than 5%). The clay fraction varies quite considerably ranging from a few per cent to around 40%. It is almost solely constituted of kaolinite.

The soils are all very sandy at the surface. At depth, the clay content increases considerably. There are, however, marked differences between the yellowish brown soils and the red soils:

- clay content in the yellowish brown soils varies between 3 and 10% in the surface layer (0–25 cm.). These soils are sandier in the north of Gambia (3% on the average) than in Casamance (average 11%). The differences result from sanding up in ancient times (pre-Ouljian) which affected the north-west of Senegal.

Clay content increases **sharply** at an average depth of 80 cm. Increase at lesser depth usually denotes a truncated profile. This increase is due to accumulation resulting from leaching of the surface horizons.

Illuviation takes place over a thickness of 40–80 cm. The degree of leaching varies from 2.5 to 5 with an average of about 3.8.

—the red soils are also very sandy at the surface though to a lesser extent, on the average, than the yellowish brown soils and for more dispersed values. R. FAUCK (1955) notes an average clay content of 12.5% in the surface horizons. The red soils and the yellowish brown soils are sandier in the north of Gambia. An increase in clay content is also noted with depth. This increase takes place **gradually** between 40 and 100 cm. depth. On the average the rate of increase is equal to 2 and approaches 3 in rare instances. Individualisation of a true horizon of accumulation does not take place. Clay content increases gradually until it reaches that of Terminal Continental clayey sandstone. The lightening of surface texture is partly the result of surface reworking during topographical evolution. The general planing down favours the sweeping away of fine, easily dispersed material. This applies to the red soils as well as to the yellowish brown soils but these latter are leached in addition. It should, however, be remembered that the red soils are always situated in more pronounced topographical positions (crests, upper parts of plateaux) than the yellowish brown soils. Clay skins are **not observed** at depth in either of these soils.

2.2. Structure

Structural differences between the yellowish brown soils and the red soils are fairly marked.

In the natural environment, covered over by some organic debris which is usually destined to be a victim of fire or termites, the yellowish brown soils present a grey, smoothed, almost glazed surface which crusts easily. The red soils, on the contrary, present a (perhaps rapid) transition in which the more abundant organic matter is better linked with the underlying humiferous horizon. As a result surface structure is usually crumblike.

The humiferous horizon of leached ferruginous soils is grey in colour (light to dark grey). Structure is massive tending to be vaguely crumblike. Cohesion is fair to good. Porosity is good, but mainly as a result of biological activity (canalicules, insect nests, etc.). In the red soils the humiferous horizon is brown in colour. The structure is finely crumblike and the horizon is more friable. Root hair is well distributed throughout the mass. The whole is quite porous as a result of aggregation.

The structural stability of the yellowish brown soils is very poor and is always poorer than that of the red soils. In the case of both soils, placing under cultivation provokes rapid deterioration in the structure which becomes particulate. The red soils are always better drained than the yellowish brown soils which tend to become warped at the surface as a result of rainfall. However, the climatic conditions are such that levelling is almost as intense in red soils as in yellowish brown soils.

The differences in structure are just as marked at depth. The yellowish

brown soils present a typical nutlike structure tending to become coarsely polyhedral with increasing clay content. Cohesion is generally good and porosity poor at the level of clay accumulation. The clay accumulation horizon is often warped during the wet season. The red soils are characterised by the presence of **pseudosand**, i.e., of pseudoaggregates cemented by the iron sesquioxides. The horizons are porous. Structural stability is fair. Internal drainage is better than in the yellowish brown soils.

The ensemble of structural and textural characteristics effects root penetration. The yellowish brown soils are prospected in successive slices whereas penetration is much more even in the red soils. They are more suited to tap roots (teaks).

2.3. Organic matter

The organic matter horizon of the yellowish brown soils differs fairly markedly from that of the red soils.

—The surface horizon of the yellowish brown soils is grey black, fairly light coloured when dry, almost black when wet. This horizon extends to a depth of 25 to 40 cm., the average being about 30 cm. It contains little organic debris. On the other hand it contains considerable amounts of ash and wood charcoal, not only at the surface but mixed into the mass of the horizon as well. The decomposed organic matter is fine and intimately linked with the mineral colloids. It plays only an unimportant part in structure. Except in the surface, where the structure is coarsely crumblike, the organic horizon is massive and structure is little developed. On the other hand, this horizon is porous (numerous canalicules) and bulk density is low. However, the organic matter has but little affinity for water. The soil is difficult to wet. The part played by the organic matter is essentially that of cement, probably in liaison with iron. Cohesion is fair (resists crushing between finger and thumb).

Chemically speaking the organic matter is rich in carbon and poor in nitrogen. The C : N ratio is always greater than 14 and generally nearer to 17 in the natural environment. Organic matter content is about 1%. The degree of humification is low = 10%. Placing under cultivation leads to a rapid drop in total organic matter but apparently without affecting humic matter content. As a result, there is a marked increase in degree of humification which, under cultivation, is between 20 and 50%. Precipitable humic acid is predominant at the surface. On the other hand, fulvic acid increases with depth.

These data are related to the type of biological activity which is characterised by strong nitrification, a low saccharate and urease content and low liberation of carbonic gas. As a result there is extremely rapid mineralisation of easily decomposed organic products with a consequent

high spontaneous fertility. As reserves are low, the soils quickly become degraded (Y. DOMMERGUES, 1960). Material comprising large molecules, lignite in particular, provide generally more or less colourless residual products which are the main leaching agents, leaching being all the more intense as the cumulated rains are more concentrated (R. MAIGNIEN, 1959).

Organic matter evolution follows a seasonal rhythm. During the dry season organic debris is the victim of termites and fire. However, it appears that microbe activity begins at very low moisture level (lower than wilting point) (Y. DOMMERGUES, 1960). As a result, the phenomena of mineralisation carry over considerably into the wet season. When the rains begin, the stock of organic matter to be decomposed increases at the same time as the processes of anaerobiosis and of deoxidisation develop. The soil becomes more acid and the drop in pH may exceed one unity in sandy soils. In Casamance, where the soils are clayier and more buffered, annual variations in pH are round about several tenths of a unity. The overall effect of these mechanisms is to influence the mobilisation of sesquioxides and clay leaching.

—The surface horizon of the red soils is dark brown. After clearing and placing under cultivation (millet, groundnuts), the colour quickly changes to a grey-black similar to that of the leached ferruginous tropical soils. Their organic horizon (15–20 cm.) is much less deep than that of the last mentioned soils. Under natural vegetation there is generally a thin layer of organic litter (2–3 cm.) in which intense biological activity takes place. Between this litter and soil surface there is a fairly dense spread of root hair. Termite activity in the litter appears to be less marked than in the case of ferruginous tropical soils. The decomposed organic matter is intimately mixed with the mineral matter and results in a well developed fine crumb structure. Taken as a whole, the horizon is friable and porous. Cohesion is poor to average.

From the chemical aspect, total organic matter content is always higher than in the yellowish brown soils (2 to 3%). On the other hand, carbon content is high whilst that of nitrogen is low, whence a high C : N ratio varying from 15 to 18 near the surface. However, this ratio decreases rapidly with depth at the same time as the horizon becomes lighter in colour. The low degree of humification under natural conditions (5%) rises rapidly under annual cropping conditions (50%). Fulvic acid content is relatively higher than in the ferruginous soils. It is always greater than precipitable humic acid content. The products of organic decomposition, much more pallid than in the yellowish brown soils, play a limited role in the leaching of iron sesquioxides.

The density of cellulolytic microbes is high but decreases when the soil is cultivated. Saccharate content is high in the natural environment but

**Biological characteristics of weakly ferrallitic red soils
(Y. Dommergues, 1960)**

	Djibelor forest		Bignona forest
	Untouched plot E 1 to E 9	Cleared plot E 2 to E 10	Mixed forest R 9 to R 8
Carbon cycle			
Density of cellulolytic micro-organisms . . .	3,210	1,220	1,700
Saccharate	646	391	676
Liberation of CO ₂ mgr./100 gr. soil . . .	59.2	95.6	79
Total carbon ‰	14.7	13.8	12.5
Coefficient of carbon mineralisation . . .	1.1	2.0	1.7
Nitrogen cycle			
Density of chroococcum azotobacter . . .	—	—	30
Density of nitrous bacteria	40	70	660
Mineral nitrogen mgr./100 gr. soil . . .	1.9	2.9	—
Mineral nitrogen + mineralisable nitrogen mgr./100 gr. soil	4.7	6.1	4.5
Total nitrogen ‰	0.9	1.0	0.7
Coefficient of nitrogen mineralisation . .	5.3	6.4	7.6
Acidity pH	5.7	5.8	5.7

drops to average after clearing. Liberation of CO₂ is average and increases greatly when the soil is placed under cultivation. The coefficient of carbon mineralisation is average and becomes high after clearing.

A study of the nitrogen cycle reveals the following data: the density of chroococcum azotobacter is nil to very low and the same applies to nitrous bacteria. However, the latter increase when the soil is cultivated. Mineral nitrogen and mineralisable nitrogen contents are very high. The same applies to the coefficient of mineralisation of nitrogen. These values are markedly increased by clearing.

In brief, the red soils present the characteristics of forest soils with little or no nitrification. They contrast with the yellowish brown soils in which intense nitrification takes place but which are characterised by distinctly lower urease and saccharate contents as well as by markedly lower CO₂ liberation. Clearing and cultivation of Senegal red soils render their biology similar to that of leached ferruginous tropical soils. These are fragile soils which quickly deteriorate.

2.4. Acidity pH

Statistically speaking there is little difference between the pH of the surface horizon of the yellowish brown soils and that of the red soils. In Casamance, the average pH is about 6.4. However, it appears that, in the natural environment, the pH of the red soils is 2/10 to 3/10 of a unity higher than that of the yellowish brown soils.

On the other hand, the differences become more marked with depth.

The deep horizons of the red soils are always more acid than those of the yellowish brown soils, sometimes by more than 1 unity of pH. These variations appear to be mainly linked with the effect of vegetation. Organic apports to the red soils are greater than to the yellowish brown soils. As a result, surface pH is raised in the red soils and the differences at depth are more marked.

2.5. Absorbent complex

In the surface horizon, in absolute terms, the red soils are always better provided with bases than the neighbouring ferruginous soils. The same remark applies to mineral reserves. The following table sets out their average values in Casamance (R. FAUCK, 1955) :

	<i>Yellowish brown soils</i>	<i>Red soils</i>
Exchangeable elements meq. %		
Ca	1.1 to 3.9	2 to 3
Mg	0.5 to 1.95	1.25 to 1.5
K	0.08 to 0.46	0.10 to 0.12
Na	0.06 to 0.08	0.09 to 0.11
S	1.8 to 5.4	3.44 to 4.73
Mineral reserves meq. %		
Ca	6 to 8	8 to 14
Mg	2 to 3	2 to 7
K	0.5 to 0.7	0.6 to 1.2
Na	1.2 to 1.3	1.3 to 1.5

North of Gambia, the sandier soils are also poorer. Here again, the very marked effect of organic apports is observed in the surface horizons.

The variations with depth indicate more pronounced impoverishment in the red soils than in the yellowish brown soils. This is mainly due to some B accumulation in leached ferruginous tropical soils in liaison with clay illuviation. S is often less than 2-3 meq. %.

In the deep horizons, the degree of saturation of the absorbent complex is very high—about 70 to 90%. V is often nearly 100 in the topsoil. Acidity is thus essentially organic. At depth, values for V remain high and are always higher in the yellowish brown soils than in the red soils.

2.6. Iron content

The analytical data show that total iron content is fairly low in absolute terms—about 0.5-4%. These values are to be compared with the characteristics of the original material. The red soils are richer (2.4 to 4%) than the yellowish brown soils (1.6 to 4%). In the yellowish brown soils, free iron constitutes 50 to 60% of total iron. In the red soils, the range is much wider—40 to 70%. But, whereas the ratio free iron : total iron diminishes slightly with depth in ferruginous soils, this ratio increases noticeably in the red soils, attaining 90% in some cases. Thus the tendency to immobilisation is more marked in ferruginous tropical soils.

However, the differences concern the relationship iron-clays (kaolinite)

more than the percentages. In the yellowish brown soils, iron is little linked with clay, it is easily mobilised and leached thus promoting a tendency to concretionary and cuirass formation at depth. In the red soils, iron is much less labile. It becomes evenly distributed by gradual saturation of the kaolinite surfaces. There is formation of well ordered complexes. As the clay surfaces are extensive compared with iron content, concretionary formation does not take place (FRIPIAT—D'HOORE, 1954). This reduced mobilisation mainly becomes manifest by the formation of pseudosand. Thus these surface effects seem to constitute one of the essential characteristics of differentiation between the yellowish brown soils and the red soils. This question is little known and deserves more thorough study.

2.7. Mineralogical characteristics of the products of weathering and neosynthesis

A comparison of the types of soil does not bring out any differences. In both cases there is a mixture of quartz, kaolinite and iron sesquioxides, all of which are extremely stable in a tropical environment. No difference is observed in the mineralogical composition of the original material of the soils. Alumina contents are proportionate to clay contents. It is difficult to demonstrate the presence of free alumina. The criterium of weathering

$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ cannot be applied as the original material is in climactic equilibrium with the factors of pedogenesis.

To sum up, the criteria for discriminating between the yellowish brown soils and the red soils are the following :

- general characterisation of the profiles,
- colour,
- the biological evolution of organic matter,
- iron : clay relationship.

The yellowish brown soils are characterised by specific biological evolution favouring leaching of clays and iron sesquioxides. At depth these processes result in the formation of an horizon which becomes warped at the same time as it becomes individualised. This warping accentuates the phenomena of hydromorphism at the surface and, as a consequence, the mobilisation of iron which tends to form first a concretionary and then a cuirassed horizon immediately under the clay illuviation horizon. Cuirass formation is thus typically linked with the evolution of the soil. The horizons are light in colour.

The red soils are always much more porous. Hydric and thermic conditions are much more effectively buffered than in yellowish brown soils, mainly due to the protective action of the interlacing vegetation canopy. A waterlogged horizon is practically never observed in them during the wet season. Biological activity tends to make for ferrallitic soil evolution.

This evolution largely contributes to the enrichment in cations of the surface horizons. The products of decomposition play a limited part in the leaching of clay and iron. The latter is evenly distributed on the clay surfaces. As a result the profiles present an even red appearance throughout. Differentiation between horizons is little marked.

In conclusion, the yellowish brown soils correspond to **climactic savannas** where the action of the herbaceous vegetation (organic accumulation) is superimposed on that of the stemmy vegetation (leaching) (R. MAIGNIEN, 1958). The red soils are typically **forest soils**.

IV.—DEFINITIONS AND CLASSIFICATION

The yellowish brown soils and the red soils of South-western Senegal are to be classified in two categories of soils predominating in the pedogenesis of inter-tropical regions: the ferruginous tropical soils and the ferrallitic soils.

G. AUBERT associated these soils with the red soils of the Mediterranean in the same class: mull (mild humus) soils with individualised hydroxides.

Though retaining the same association, a certain number of points, discussed further on, lead me to formulate the following definition:

—Soils with marked individualisation of sesquioxides and quickly decomposed organic matter.

The proposed grouping is fully justified as it is based on the general characteristics defining soils in hot regions of the earth.

1. Marked individualisation of sesquioxides is a datum common to all the soils under consideration. The concept of individualisation is considered in terms of relative values (e.g. free iron content: total iron content). If calculations are based on absolute content the concept is no longer valid as it frequently happens that the soils develop on original material poor, or considerably impoverished, in these elements. Individualisation of sesquioxides must then be understood at geographical level, sesquioxides status combining not only specific content for each soil but also the tendencies to immobilisation (concretionary and cuirass formation) occurring in a particular landscape. By sesquioxides are meant the various oxidised forms of iron and alumina as well as manganese.

2. The notion "soils with quickly decomposed organic matter" completes the first criterium. It is to be preferred to that of "mild humus soils", as this latter definition infers the possession of data about which little is known and, in any case, the organic matter of ferruginous tropical soils presents biological characteristics too different from those of ferrallitic soils for them to be classed under the same heading.

In all these soils humus content (precipitable or non-precipitable) is generally low, and the acidifying role of these elements has no bearing on

the properties of a mild humus. On the other hand, rapid mineralisation of organic matter is observed in both cases. This is illustrated by comparing the 2 to 10 tons per hectare of organic vegetation apported annually by the vegetation with organic matter content observed in the shallow surface horizon of tropical soils (maximum of 2 to 3% to a depth of 30 cm.). Individualised products (CO_2 and NH_3) are quickly eliminated by the atmosphere and the drainage water.

By specifying "rapidly decomposed organic matter" the speed of evolution is stressed. It is thus contrasted with the slowing down of evolution in a hydromorphic or poorly drained environment.

The yellowish brown soils and the red soils are always situated in positions of normal external drainage. Nevertheless, their pedogenetic evolution may modify internal drainage conditions. Thus, for example, the formation of an horizon of clay illuviation in leached ferruginous tropical soils slows down the percolation of soils solutions and, secondarily, provokes the formation of characteristics of hydromorphic environments (organic matter with a C : N ratio higher than 14, concretionary formation, etc.). Now these criteria have very often been interpreted at soil class level whereas they should only be considered at a much lower level in the hierarchy of soil classification. Thus it is that certain slightly ferrallitic eroded soils presenting phenomena of surface waterlogging favouring ironstone formation have sometimes been improperly classed with ferruginous soils.

This leads to the introduction of criteria used in defining the lower levels of the classification. For this purpose, the soils must be considered from the point of view of profile and the yellowish brown soils differ profoundly from the red soils in this respect.

The former belong to the sub-class of **ferruginous tropical soils** which is defined by a pronounced tendency to individualisation of iron and manganese; the individualised oxides are observed to be but little linked with other elements and present a marked capacity for redistribution within the profile.

The SPI (1961) gives the following definition of the ferruginous tropical soils:

"Group of soils with A B C profile, sometimes with A_2 and textural B and, in such cases, structure tends to be nutlike. Considerable individualisation of free iron oxides is frequently observed. This facilitates their being leached out of the profile or their precipitation within the profile in the form of patches or concretions. Their alterable mineral reserve is often appreciable. The silt : clay ratio (20/2 microns) determined by repeated dispersions, sedimentation and separation of the supernatant suspension, is generally higher than 0.15. Their clay content is mostly kaolinitic, but often contains small quantities of 2 : 1 lattice clays. Gibbsite is generally absent. The SiO_2 : Al_2O_3 ratio is around 2 but generally higher than this value, whilst the SiO_2 : R_2O_3 ratio is always lower than 2. The cation exchange

capacity of the mineral complex is low but higher than that of the " Ferrisols " and other ferrallitic soils with comparable granulometric clay content. Base saturation in the B horizon is generally higher than 40% (ammonium acetate N pH 7).

Ferruginous tropical soils, defined as above, would fall under the orders of Alfisols (ustalf) and Oxisols (idox) of the seventh approximation USDA.

The yellowish brown soils of Senegal just about fall within this definition. There is only one difference: they do not possess an appreciable mineral reserve. But this is a consequence of the characteristics of the original material composed of quartz, kaolinite and iron oxides. However, the presence of blunted, corroded quartz grains (residual products of ferrallitic origin) side by side with smaller angular hyaline grains, resulting from the mechanical disaggregation of the former, on which no trace of weathering is to be observed at the breaks, contrasts this ferruginous environment with the ferrallitic environment.

* * *

The yellowish brown soils simply constitute a group within the ferruginous tropical soils. In the French classification they are distinguished according to the degree of clay leaching. Thus the ferruginous tropical soils comprise:

1. **Non- or little leached ferruginous tropical soils** divided into two sub-groups according to the degree of individualisation of profile:

- A (B) C ochre soils,
- A B C " dior " soils in a sandy acceptance.

They belong to an ecologically drier group than the following soils and develop in West Africa up to the 500 mm. isohyet.

2. **The leached ferruginous tropical soils** present marked clay eluviation in the surface horizon followed by accumulation at depth. The yellowish brown soils belong to this group. Clay illuviation provokes the formation of a more or less warped horizon which profoundly affects the distribution and the immobilisation of iron and manganese. Three sub-groups are distinguished according to the intensity of the phenomenon:

- soils without concretions,
- soils with concretions,
- soils with cuirass formation.

Thus the yellowish brown soils mark the final point in the evolution of ferruginous tropical soils towards the ferrallitic soils. At the limit, the discrimination between these two sub-classes concerns, in the case of the ferruginous soils, the tendency to concretionary and cuirass formation in liaison with the deep horizon of clay accumulation. The presence of the

latter is **obligatory**. Ferruginous concretions or patches do not suffice to define soils as ferruginous tropical soils for the origin of these characteristics is much more diverse (hydromorphism, lateral leaching, etc.) (R. MAIGNIEN, 1958).

The red soils of Senegal are typically **ferrallitic soils**, that is to say deeply and very heavily weathered soils characterised by their richness in metal oxides, including aluminium, in an environment allowing good decomposition and often even very rapid decomposition of organic matter (G. AUBERT, 1958). Ferrallitic soils present the following general characteristics :

- the clay fraction of these soils is composed of kaolinite mixed with metal hydroxides, iron and aluminium in particular. It sometimes contains small amounts of other clay minerals, illite in particular ;
- their $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ ratio is lower than 2 ;
- they may comprise concretions and indurated horizons but they are poor in silt ($2-20\mu$) ;
- they often present great friability at depth ;
- their exchange capacity compared with clay content is low to very low, as are their degree of base saturation and their mineral reserves ;
- they are formed essentially in equatorial humid tropical regions.

The red soils of Senegal differ from this definition by the absence of concretionary formation, but this criterium is not imperative. They belong, more specifically, to the group of **slightly ferrallitic soils**. It is important that the notion of slight ferrallitisation be defined as it does not correspond to the criteria set out in the SPI classification (1961) and the classification of the soils of the Belgian Congo (SYS, 1959). As is borne out by its increasingly numerous restatements, this problem presents many difficulties.

The French distinguish three groups of ferrallitic soils :

- slightly ferrallitic soils containing a small proportion of ferrallitised elements. These soils are, relatively speaking, not very deep (3 to 6 metres) and mainly develop on rocks poor in bases ;
- typical ferrallitic soils which correspond to the central concept of the general definition ;
- leached ferrallitic soils in which weathering and leaching reach an extreme limit.

This classification is thus based on the intensity of type of weathering and on the more or less great exportation of elements rendered soluble. Now the great thickness of the profiles sometimes hinders satisfactory study of these processes, and such study is of no application unless it is possible to compare the primary minerals with their products of weathering. With

regard to sedimentary rocks the problem remains untouched upon, particularly when the constituent minerals have been formed under conditions of ferrallitisation, which is the case for the sediments of the Senegalese Terminal Continental. Moreover, the notion of intensity of weathering is often marked by the notion of duration of weathering. Thus it is that, for similar intensities, the soils formed on the older surfaces of a landform often appear to be more ferrallitised than those formed on the more recent surfaces; in particular, the profiles are deeper. These difficulties can be overcome however by basing observations on other profile characteristics which, even if less studied than the characteristics of weathering, are, genetically speaking, at least as important: individualisation of profiles, colour, leaching, etc.

The red soils of Senegal can be regrouped amongst the ferrallitic soils (*sensu stricto*) in the legend to the SPI Soils Map of Africa at the scale of 1:5,000,000. The ferrallitic soils are there defined as follows:

"Soils whose horizons are weakly differentiated with diffuse boundaries. Some have an A or textural B horizon. The B horizon may have weak structure in the more clayey profiles but the aggregates do not have the well developed glossy surface described for the Ferrisols.

The structural elements are often very finely granular, more or less coherent and form a very friable porous mass.

There is little or no reserve of weatherable minerals. The silt: clay ratio (20/2 microns) (see ferruginous tropical soils) in horizons B and C is in general below 0.25 and the clay minerals, all of the 1:1 type, are generally mixed with considerable quantities of free iron oxides. Although they often contain hydrated oxides of aluminium, gibbsite is a frequent but not essential constituent. The $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio is sometimes near 2 but generally below 2. The cation exchange capacity of the granulometric clay fraction is generally less than 20 meq./100 g. and the degree of saturation in horizons A and B is generally below 40% (normal ammonium acetate at pH 7)."

By these characteristics, the red soils of Senegal are clearly distinguishable from the "Ferrisols" in the classification of Belgian Congo Soils (Sys, 1959) and in the SPI legend (1961). In particular, the aggregates do not have a glossy surface and mineral reserve is low. According to Sys's concept they would therefore be "Ferralsols". Thus, though it has often been attempted, the weakly ferrallitic soils cannot be grouped with the ferrisols. It is very important that this be clearly understood for, in the French classification, the red soils of Senegal are considered as being weakly ferrallitic soils and are therefore classed amongst the soils in the first stages of ferrallitisation, whereas in the Belgian or SPI classification they are designated as ferralsols or ferrallitic soils *sensu stricto* which correspond to a much more developed stage of the phenomenon. In fact, weakly ferrallitic soils and typical ferrallitic soils can both be either ferrisols or ferralsols.

If a comparison is made of the positions allotted to the red soils of Senegal in the various classifications with regard to the environmental factors which influence their evolution and the intensity of the processes in question, the definition "weakly ferrallitic soils" seems much more logical. These soils are geographically distributed between the leached ferruginous tropical soils and the typical ferrallitic soils. They occupy an intermediate position between savanna pedoclimates and humid forest pedoclimates. Their upper limits (in dry regions) and lower limits (in wetter regions) are clear cut, particularly under a tropical climate. Approaching the equatorial regions, the boundaries between ferruginous tropical soils and weakly ferrallitic soils are more diffuse as these regions correspond to transitional climatic zones where other pedological processes intervene in liaison with phenomena of degradation (erosion, surface hydromorphism, concretionary and cuirass formation, etc.).

The defect of the various classifications is that they are almost exclusively based on weathering criteria. Now these criteria are not only pedologically important but also affect morphology and geology, the processes in question usually affecting a layer of great depth since ancient times (Tertiary, sometimes even Cretaceous). Here we take up the problem of "weathering crusts" (J. J. GINSBERG, 1957). Thus it is necessary to begin by defining what is meant by ferrallitisation.

This term covers several processes which intervene at various levels:

- processes of weathering.
- processes of neosynthesis,
- mechanism of redistribution of primary mineral and/or neogenesis.

In the author's opinion the definition should be limited to processes of weathering alone: ferrallitisation is an ensemble of natural processes of intense, extremely developed hydrolysis which provokes the rupture of the crystalline network of primary minerals (alumina, silicate) of rocks. The constituent elements become individualised under simple more or less ionised forms, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , TiO_2 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , H^+ etc. It is to be imagined that such weathering will be more or less complete according to the intensity and duration of the phenomena in liaison with environmental conditions and rock characteristics (some minerals are more alterable than others).

Starting from these individualised elements and according to drainage conditions, pH, and the concentration of certain cations (Ca and Mg in particular) there is either exportation of certain elements through or out of the profile, or re-combination of certain of them takes place and results in the apparition *in situ* of products of neogenesis. In a well drained environment poor in silica, apparition and increase of free alumina content is observed. In a moist environment poor in bases but rich in silica, neosynthesis of kaolinite takes place. When drainage is deficient and the

percolate is rich in alkaline earth cations, more or less marked formation of 2 : 1 clay, and sometimes even of montmorillonite, is observed (N. LENEUF, 1960). In this second stage, the horizons of weathering consist in a mixture of more or less decomposed residual materials, individualised elements, and products of neosynthesis.

But a third series of phenomena is superimposed upon those mentioned above. It derives from the circulation of soil solutions throughout the complex of weathering. Differential migration of vertical and lateral enrichment products is observed. These products sometimes become immobilised and this leads to a redistribution of textural material, not only through the profile but also through the soil landscape. Leaching of the clay results in a relative increase in sesquioxides content. As a consequence of the mobilisation of iron, alumina content increases. The concentration and immobilisation of sesquioxides contributes to the formation of concretions and cuirasses (R. MAIGNIEN, 1958).

All these processes are closely linked with the hydric regime obtaining within the weathering crusts, whence the importance of hydrostatic levels and temporary or non-temporary watertables occurring at various depths depending on the rhythm of climate, landform, vegetal cover and composition of the rock.

This weathering complex is subjected to the ensemble of mechanisms which contribute to the setting in place of the landform. Surface reworking takes place and is sometimes considerable (ROUGERIE, 1960). In such cases it is difficult, if not impossible, to use the various formulas based on analytical comparison at different levels. There is often only a very distant relationship between the mineralogical constituents of the soils and those of the parent rock which have produced the original material. When, in defining a soil, one can use these weathering characteristics as a point of reference, it is important to consider not only the present state of the profile (case of morphological classification) but also to situate it in a general process of evolution. Certain characteristics only appear at a mature stage. Their absence in early stages does not imply their non-existence. Consequently, the notion of the age of a soil is very important. For example, under moist forest with equatorial rainfall exceeding 1,500 mm. annually, pedogenesis is typically ferrallitic. Now there are numerous relatively shallow soils rejuvenated by erosion which contain considerable quantities of partially weathered primary minerals. Morphologically speaking, these are ferrisols; genetically speaking, they are young ferrallitic soils. Following this point of view, an important objection can be made: is the rejuvenation linked with a morphogenesis specific to a moist equatorial environment? Under these conditions, the soils correspond to a pedo-climax and enter the classification at group level. In any case, it is essential to know the nature of the evolution for, whatever may be the present state of the soil, this evolution will influence the type of land-use chosen.

The main groups of processes attached to the term "ferrallitisation" intervene at various degrees of intensity and stages of evolution to determine the various types of ferrallitic soils. But these processes mainly affect the characterisation of the original material. A definition of a soil must be based on other pedological characteristics, more easily perceptible and at the same time linked with these various stages of evolution. The use of these criteria should enable logical definition of tropical soils formed on sediments composed of stable material such as kaolinite, sesquioxides and quartz. These sediments, often of detrital origin, are in climatic equilibrium with the present conditions of the weathering environment. In such cases, definitions are meaningless and the application of weathering criteria leads to classification of the original material as a type of soil. However, this is not without interest, for example, in studies of paleogeography. As an illustration, the Terminal Continental deposits result from the accumulation in the ancient Gulf of Senegal, of ferrallitic material swept away from landforms of the eastern regions, and these sediments still bear the traces of ancient weathering processes (C. MICHEL, 1961).

A pedological study of the red soils of Senegal shows that, due to the characteristics of the original material, the criterium "weathering" cannot be applied to them nor can the criterium "silt: clay ratio" and "clay skin". However, other characteristics remain which give the profiles their specific qualities: colour, iron: clay relationship, structure, type of organic matter. These latter criteria are just as important as the first-mentioned, the more so as they correspond to specific processes. We therefore define these soils as a sub-group of the weakly ferrallitic red soils, the definition being based on the following criteria:

- uniform red colour of the profile (5 to 7.5 YR),
- profile A (B) C,
- at least three metres deep,
- friable structure and good porosity linked with the presence of pseudosand,
- well decomposed organic matter denoting a forest environment,
- apparent non-weathering of quartz in the absence of ferrallitisable minerals (alumino-silicated minerals),
- possible slight degradation of kaolinite in the surface layer (not verified in Senegal),
- degree of saturation in B, lower than in ferruginous tropical soils (less than 50–55% on the average).

Even apart from the concept "ferrallitic weathering", the ensemble of these data is characteristic for they can be compared with identical data obtained for weakly ferrallitic soils formed on schists and granite in the S.E. regions of Senegal where weathering of primary minerals is observed and can be studied. These facts define present evolution and not past characteristics.

In conclusion, certain geomorphological facts specific to regions of ferruginous tropical soils and ferrallitic soils confirm, on a geographical scale, the reality of these entities :

- leached ferruginous tropical soils correspond to a morphogenesis of long glacis tending to a general planing down of relief,
- weakly ferrallitic red soils tend towards the setting in place of a more accentuated hill-type relief.

CONCLUSIONS

The south-western regions of Senegal are characterised by the sharp transition from yellowish brown coloured soils to red coloured soils. The line of contact marks the limit between the ferruginous tropical soils and the ferrallitic soils and, more specifically, between the leached ferruginous tropical soils and the weakly ferrallitic soils.

The composition of the original material on which the soils develop—mixture of quartz grains, kaolinite and iron sesquioxides—restricts the application of weathering criteria in defining the transition. Nevertheless, the fundamental differences between these two groups of soils can be determined by other, equally pedologically important, characteristics. These characteristics concern: the individualisation of the profiles, their colour, the evolution of the organic matter, the dynamics of the iron in relationship with the clay materials, structure. These data enable precise definition of the upper limit of ferrallitic soils in dry tropical regions and, consequently, the limit conditions of their formation. These data are essential for the development of the regions concerned. They indicate that the development of an agricultural system based on annual crops is quite valid on leached ferruginous tropical soils, whereas such a system of land use is to be condemned on weakly ferrallitic red soils. These latter are formed and evolve in pre-forest areas. Their development must be based on plants whose ecology is similar to that of forest, which means to say based on perennial crops.

It is to be noted that north of Gambia, the red soils present morphological and analytical characteristics denoting evolution towards the leached ferruginous tropical soils. This is due to the degradation of the forest vegetation accentuated by less abundant rainfall. There the red soils are in climatic disequilibrium. Furthermore, it is probable that these soils are sub-present and recur to a recent moister period (the present period can be estimated as being dryer by 150 to 200 mm. of rainfall annually). Their situation on the oldest surfaces of landforms confirms this interpretation. Again, it is certain that the marine influence which acts as a check on the external conditions of the Sudanese tropical climate, favours the maintenance of the red soils. They are here at the extreme limit of their formation and the question of their utilisation is consequently all the more delicate. It should include vigorous fertilisation measures: green manures, mineral

fertilisers, rotations, erosion control, etc. In this connection it is interesting to note the encouraging results obtained with experimental crop associations (groundnuts and millet in rows) which reproduce artificially the conditions of utilisation of the various soil horizons and the various aerial strata which obtain normally under savanna vegetation. The cultural methods applied to these limit soils should aim at reproducing as nearly as possible the conditions of the natural environment.

BIBLIOGRAPHY

- AUBERT, G., 1958. Classification des Sols tropicaux CRACCUS. (Classification of CRACCUS tropical soils.) Brazzaville.
- AUBERT, G., DUBOIS, J., MAIGNIEN, R., 1948. Les sols à arachide du Sénégal. (The groundnut soils of Senegal.) Inspection Générale Agriculture, A.O.F.
- AUBREVILLE, A., 1949. Climat, Forêts et Désertification de l'Afrique. (Climate, Forests and "Desertification" of Africa.) Soc. Edit. Géo. Marit. Colo., Paris.
- D'HOORE, J., 1954. L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux. (The accumulation of free sesquioxides in tropical soils.) INEAC, Série Sc., N° 62, 131 p.
- D'HOORE, J., FRIPIAT, J. J., GASTUCHE, M. C., 1954. Quelques remarques sur les oxydes de fer fixés sur les argiles tropicales. (Some remarks concerning iron oxides fixed on tropical clays.) Leo, Conf. Interafric. Sols, N° 13.
- DOMMERGUE, Y., et MAHEUT, J., 1960. Les teckeraies de Casamance, Capacité de production des peuplements, caractéristiques biologiques et maintien du potentiel productif des sols. (The teak plantations of Casamance, Production capacity of stands, Biological characteristics and Maintenance of productivity potential of soils.) Bois et Forêts des tropiques, N° 70.
- DUBOIS, J., 1949. Esquisse des différents types de sols de la moitié sud du Sénégal. (An outline account of the various types of soils of the southern half of Senegal.) *Bull. Agri. Congo Belge*, N° 1, p. 575-617.
- FAUCK, R., 1955. Etude pédologique de la région de Sedhiou (Casamance). (A pedological study of the region of Sedhiou, Casamance.) *Agro. Trop.* Vol. X, N° 6.
- FOURNIER, F., 1960. Climat et Erosion. (Climate and Erosion.) Presses Universitaires de France, Paris.
- GINSBURG, J. J. Principaux résultats de l'Etude des anciennes formations d'altération en U.R.S.S. (Study of ancient weathering formations in U.S.S.R.) Traduction BRGM, Dakar, 1960.
- LENEUF, N., 1960. L'altération des granites calco-alkalins en Côte d'Ivoire. (Weathering of calco-alkaline granites on the Ivory Coast.) Publication ORSTOM, N° 2.
- MAIGNIEN, R., 1958. Les savanes tropicales de l'Ouest africain, 2^e thèse. (The tropical savannas of West Africa, 2nd thesis.) Strasbourg, Faculté des Sciences.
- MAIGNIEN, R., 1959. Les sols à arachides du Laghem Oriental. (The groundnuts soils of East Laghem.) Rapport IRHO, Centre pédologie, Dakar, 64 p.
- MAIGNIEN, R., 1960. Influences anciennes sur la formation, l'évolution et la répartition des sols en Afrique de l'Ouest. (Ancient influences on the formation, evolution and distribution of soils in West Africa.) 7^e Congrès International Sc. Sol, Madison, U.S.A.
- MICHEL, P., 1960. L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute Gambie. (The geomorphological evolution of the catchments of the Senegal and the Upper Gambia.) *Revue Géomorpho. Dyn.*, p. 117-143.
- MICHEL, P., 1960. Recherches géomorphologiques en Casamance et en Gambie méridionale. (Geomorphological research in Casamance and southern Gambia.) Rapp. BRGN, Dakar.
- ROUGERIE, G., 1960. Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. (Present fashioning of landforms in the forest regions of the Ivory Coast.) Mémoires IFAN, N° 58, 542 p., Dakar.
- SPI (Dalaba), 1959. Légende de la carte d'Afrique au 1/5.000.000, 3^e approximation. (Legend to the Soils Map of Africa at a scale of 1 : 5,000,000, 3rd draft.)
- SYS, 1959. Cartographie et Classification régionale des Sols du Congo. (Cartography and Regional Classification of Congo soils.) 3^e Conf. Interafric. Sols (3rd Inter-African Soils Conf.), Dalaba, 32.
- TROCHAIN, J., 1936. Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. (A contribution to the study of the vegetation of Senegal.) Mémoires, IFAN, N° 2, Dakar.

Le Passage des Sols ferrugineux tropicaux
aux Sols ferrallitiques dans les Régions sud-
ouest du Sénégal (Republique du Sénégal)

The Transition from Ferruginous Tropical
Soils to Ferrallitic Soils in the South-West
of Senegal (Senegal Republic)

R. MAIGNIEN

Reprinted from :

AFRICAN SOILS, Vol. vi, Nos. 2 & 3, 1961, pp. 113-228.