

RÉPUBLIQUE DU TCHAD
PRÉSIDENTE DU GOUVERNEMENT

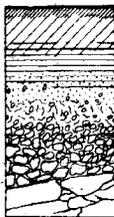
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ÉLEVAGE

G. BOCQUIER
J. BARBERY

NOTICE EXPLICATIVE

**CARTE PÉDOLOGIQUE
DE RECONNAISSANCE AU 1/200.000^e**

FEUILLE SINGAKO



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE FORT-LAMY



RÉPUBLIQUE DU TCHAD
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ÉLEVAGE

NOTICE EXPLICATIVE

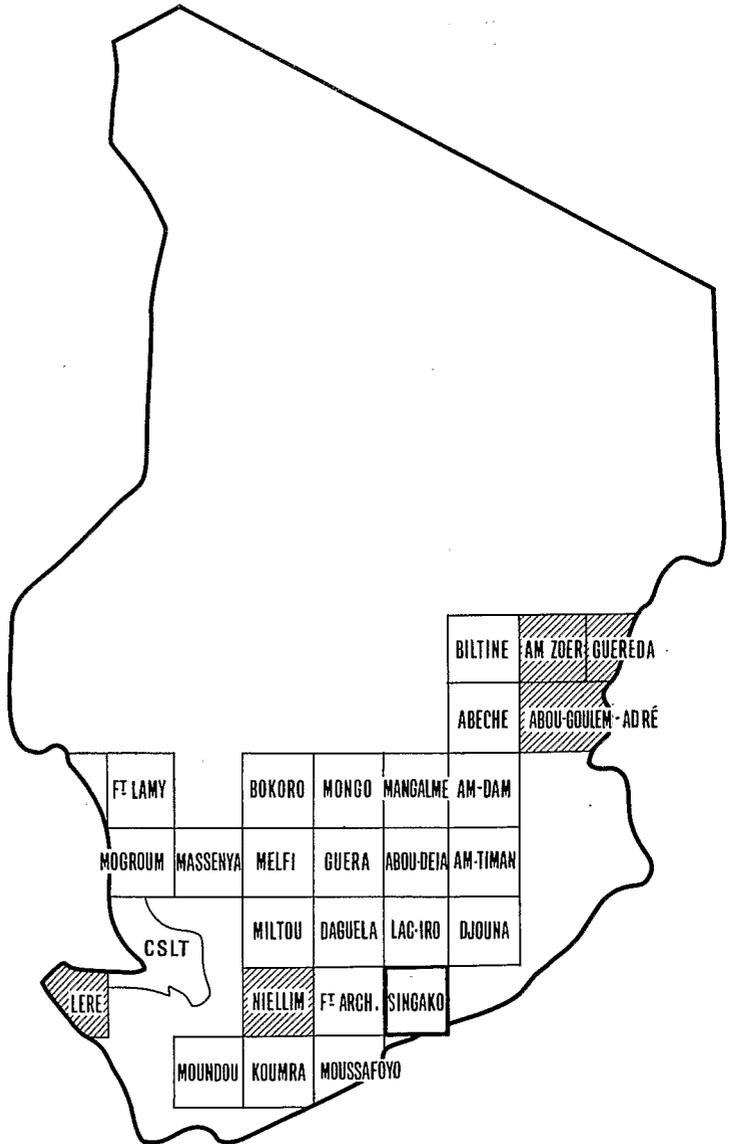
**CARTE PÉDOLOGIQUE
DE RECONNAISSANCE AU 1/200.000^e**

FEUILLE SINGAKO

G. BOCQUIER - J. BARBERY

Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy
Section de Pédologie
FORT-LAMY

LOCALISATION DE LA FEUILLE SINGAKO
ET ÉTAT D'AVANCEMENT DE LA CARTOGRAPHIE PÉDOLOGIQUE
DE RECONNAISSANCE AU 200 000e
EN RÉPUBLIQUE DU TCHAD



Cartographie réalisée en Mai 1965



Cartographie en cours

Figure 1

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION.....	VII
Première partie : LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU NATUREL ET LES FACTEURS DE FORMATION ET D'ÉVOLUTION DES SOLS	
- SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	3
- LE CLIMAT.....	5
- LE RÉGIME HYDROLOGIQUE.....	9
- LES RÉGIMES PLUVIOTHERMIQUE ET HYDROLOGIQUE CONSIDÉRÉS COMME FACTEURS DE PÉDOGÉNÈSE.....	11
- LES ROCHES MÈRES, LE MODELÉ ET LES MATÉRIAUX ORIGINELS DES SOLS.....	15
- LA VÉGÉTATION ET L'ACTION DE L'HOMME.....	27
Deuxième partie : ÉTUDE DES SOLS	
- CLASSIFICATION ET LÉGENDE PÉDOLOGIQUE.....	33
- ÉTUDE MONOGRAPHIQUE DES SOLS.....	35
I - LES SOLS PEU ÉVOLUÉS.....	35
II - LES VERTISOLS.....	36
A. LES VERTISOLS HYDROMORPHES, PEU ÉVOLUÉS, LARGEMENT STRUCTURÉS EN SURFACE.....	37
B. LES VERTISOLS HYDROMORPHES A DÉBUT DE STRUCTURE FINE EN SURFACE, AVEC OU SANS NODULATION CALCAIRE.....	40
C. CONCLUSIONS SUR LES VERTISOLS HYDROMORPHES.....	45

SOMMAIRE (Suite)

	Pages
III - LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX (Lessivés)_____	46
A. A TACHES, A ACCUMULATION DIFFUSE PROGRESSIVE_____	49
B. A TACHES ET CONCRÉTIONS, A RAIES_____	53
C. A PSEUDOGLEY_____	60
D. SUR ANCIENNE CUIRASSE FERRUGINEUSE_____	64
E. CONCLUSIONS ET CONDITIONS D'UTILISATION_____	67
IV - LES SOLS FERRALLITIQUES_____	68
V - LES SOLS HALOMORPHES_____	73
A. CARACTÉRISATION DES SOLONETZ SOLODISÉS HYDROMORPHES_____	75
B. RELATIONS GÉNÉTIQUES ENTRE VERTISOLS ET SOLONETZ SOLODISÉS_____	80
VI - LES SOLS HYDROMORPHES	
A. A HYDROMORPHIE TEMPORAIRE DE PROFONDEUR_____	89
B. A HYDROMORPHIE TEMPORAIRE D'ENSEMBLE	90
Troisième partie : CONCLUSIONS GÉNÉRALES	
- CONCLUSIONS SUR LES PROCESSUS PÉDOGÉNÉTIQUES_____	103
- CONCLUSIONS SUR L'UTILISATION DES SOLS_____	105
I - LES CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU MILIEU_____	105
II - LA RÉPARTITION DES UNITÉS DE SOLS CARTOGRAPHIÉES_____	106
III - L'UTILISATION ACTUELLE ET LES PRINCIPALES VOCATIONS CULTURALES_____	107
IV - RAPPEL DES CONDITIONS D'UTILISATION_____	108
- BIBLIOGRAPHIE_____	111
- LISTE DES FIGURES_____	114

RÉPARTITION DES SURFACES LEVÉES
PAR PROSPECTION AU SOL ET PROSPECTION AÉRIENNE

FEUILLE SINGAKO
(Janvier - Mars 1964)

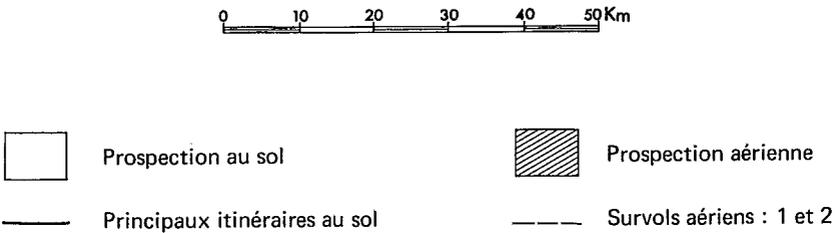
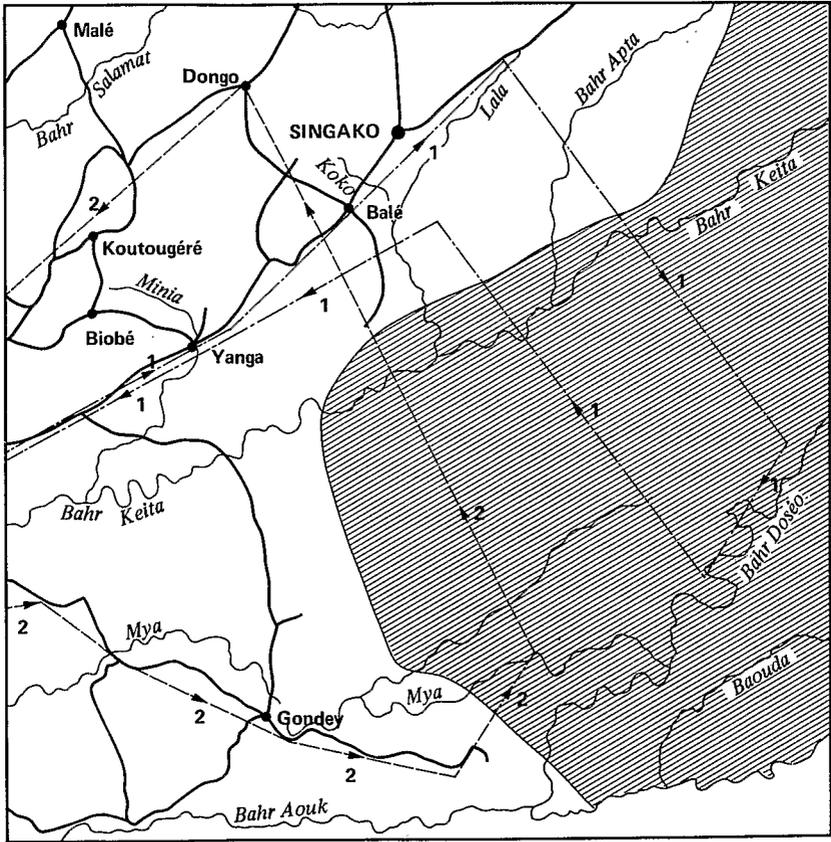


Figure 2

INTRODUCTION

La carte pédologique et la notice de cette feuille Singako ont été réalisées dans le cadre de la Convention 1199 - FAC 61/62, établie entre la Direction du Service de l'Agriculture du Tchad et l'O.R.S.T.O.M.

Cette étude représente la vingt-troisième carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000e, exécutée en République du Tchad. Ainsi, près des trois-quarts de la partie méridionale agricole du Tchad sont actuellement couverts par une cartographie pédologique systématique dont l'état d'avancement est représenté dans la figure 1.

Les cartes pédologiques voisines de la Feuille Singako et déjà exécutées, sont celles de Lac Iro (J. PIAS - J. BARBERY - 1963) et Fort-Archambault (C. MARIUS - 1962).

Les travaux de terrain nécessaires à l'établissement de cette feuille Singako ont été réalisés de Janvier à Mars 1964 par G. BOCQUIER et J. BARBERY. Sur les itinéraires parcourus, 123 profils de sols ont été examinés en détail dont 48 ont été prélevés pour analyses, portant ainsi sur 230 échantillons.

En raison des difficultés de pénétration dans les zones inhabitées situées dans la partie orientale des plaines inondées entre les Bahrs Keïta et Aouk, il a été nécessaire d'effectuer une prospection aérienne, qui a assuré l'extrapolation à ces zones des données cartographiques établies au sol sur les autres parties de la carte. La figure 2 donne la répartition des surfaces levées par prospection au sol et prospection aérienne. Le travail aérien a pu être réalisé avec un appareil "Broussard" de l'escadrille tchadienne.

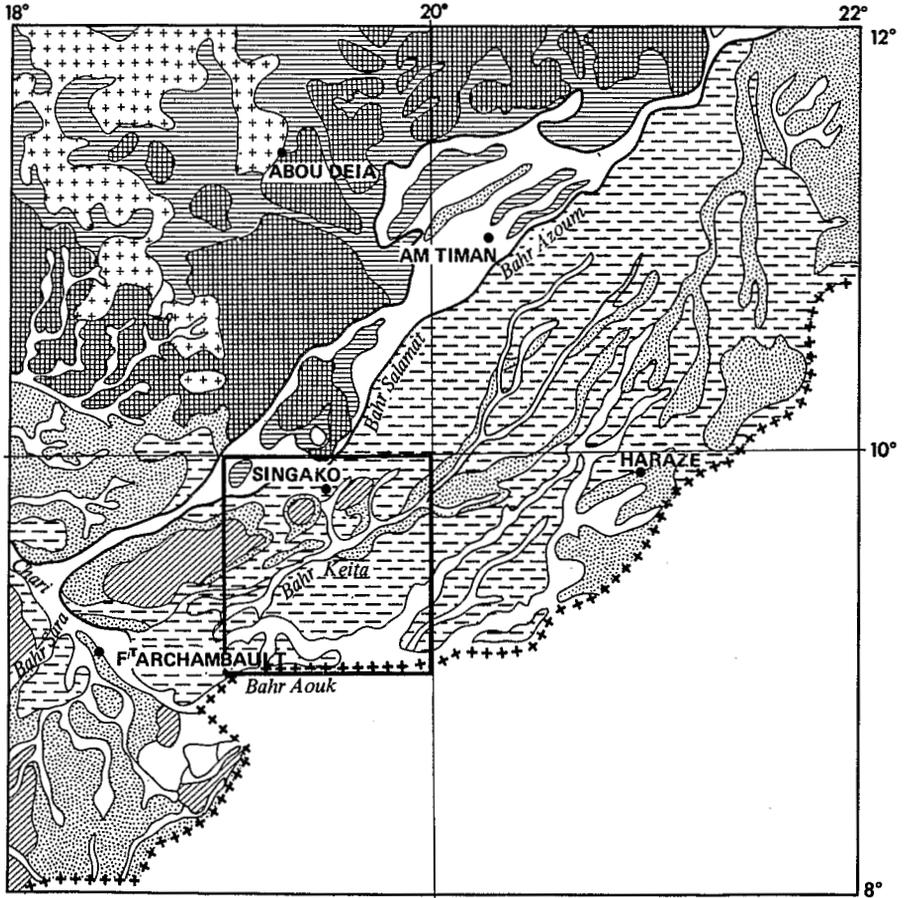
Les documents topographiques nécessaires au lever de la carte pédologique sont ceux établis par l'Institut Géographique National : (Feuille Singako au 1/200 000e - NC.34.VIII), complétés par la couverture photographique aérienne correspondante, à l'échelle du 1/50 000e. Sur le terrain et lors de la prospection aérienne, cette couverture photographique a permis le choix des itinéraires de reconnaissance, d'étude particulière et de complément. Chaque station étudiée a pu être localisée sur photo avec précision ainsi que chaque limite pédologique recoupée sur itinéraires. Par photo-interprétation systématique réalisée au Centre après les travaux de terrain, les limites des unités pédologiques ont été complétées par Y. GAUTIER qui a assuré le report à l'échelle du 1/200 000e ainsi que le dessin définitif de la carte.

Les analyses physiques et chimiques des échantillons prélevés ont été effectuées au laboratoire de Pédologie du Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy sous la direction de J. CHANUT.

Première Partie

**LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES
DU MILIEU NATUREL
ET
LES FACTEURS DE FORMATION ET
D'ÉVOLUTION DES SOLS**

LA FEUILLE SINGAKO
ET LES PRINCIPALES UNITÉS GÉOMORPHOLOGIQUES
DU SUD-EST TCHADIEN



- | | | | |
|--|---|---|------------------------------------|
|  | Le massif du Guéra |  | Les zones alluviales éxondées |
|  | Le piedmont cuirassé |  | Les plaines alluviales inondées |
|  | Les plaines argileuses du bas de piedmont |  | Les vallées actuelles et récentes |
|  | Les Koros (continental terminal) |  | Localisation de la feuille SINGAKO |

Figure 3

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

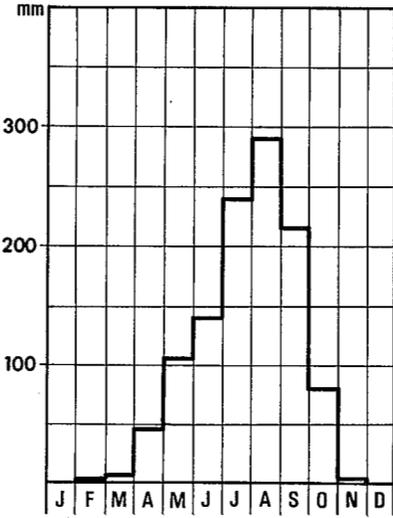
La feuille Singako est située dans le sud-est Tchadien, au sud du Lac Iro, à la partie aval de l'important système hydrographique de l'Aouk-Salamat, avant la confluence avec le Chari (cf. Figure 3).

Comprise entre 9 et 10° de latitude nord et 19 et 20° de longitude est, elle est limitée au sud par le Bahr Aouk formant frontière avec la République Centrafricaine. La majeure partie de la feuille appartient administrativement à la Préfecture du Moyen Chari (Sous-Préfecture de Kyabé) ; la bordure orientale, correspondant à des zones d'inondations inhabitées, fait partie de la Préfecture du Salamat.

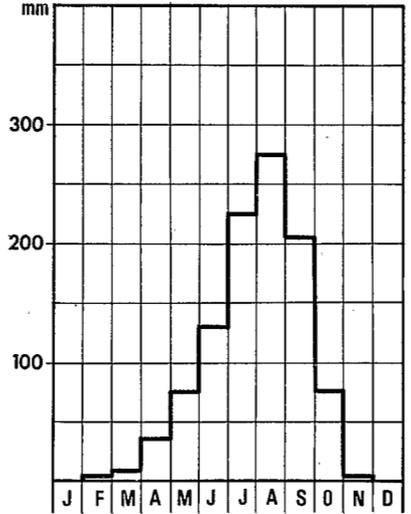
Les régions comprises dans ce degré carré sont principalement caractérisées par la présence de quatre cours d'eau sensiblement parallèles traversant d'est en ouest ce territoire. Ce sont du nord au sud, le Salamat, le Bahr Keita, la Mya et le Bahr Aouk, qui créent saisonnièrement des inondations dans de vastes plaines basses représentant près des trois-quarts de la superficie de la carte.

DONNÉES CLIMATOLOGIQUES

PLUVIOMÉTRIE : moyennes mensuelles

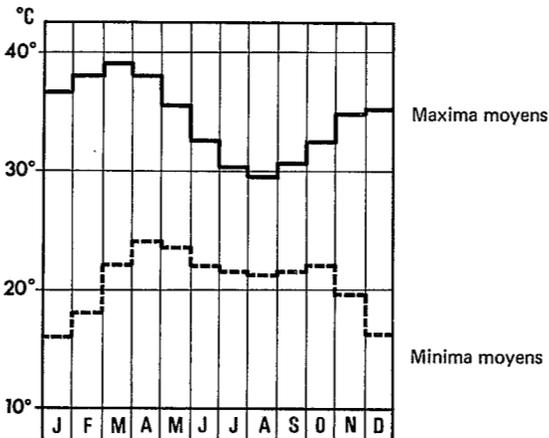


FORT-ARCHAMBAULT
(17 ans)

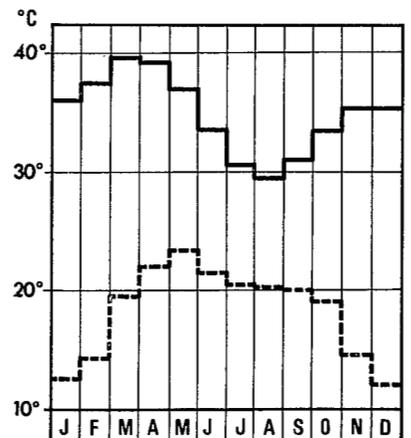


KYABE
(18 ans)

TEMPÉRATURES : maxima et minima moyens mensuels



FORT-ARCHAMBAULT
(17 ans)



AM TIMAN
(14 ans)

Figure 4

LE CLIMAT

Il est de type SOUDANO-GUINÉEN, d'après la classification d'A. AUBREVILLE (1950), et caractérisé par une saison des pluies de 6 à 7 mois (à pluviométrie mensuelle supérieure à 50 mm : de mai à octobre) alternant avec une saison sèche dont seuls les mois de décembre et janvier ne reçoivent pas de précipitations. Ce climat ne présente donc plus le très fort contraste existant entre les saisons sèche et humide du climat Sahélo-Soudanais qui intéresse la partie septentrionale du Tchad au nord de 10° de latitude. Les températures sont également moins fortes et l'humidité relative plus élevée. L'indice pluviométrique est de l'ordre de 1 000 mm.

1 - LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES CLIMATOLOGIQUES

Aucune station météorologique n'existe sur la feuille Singako ; les données utilisées sont celles des stations voisines de Kyabé (Pluviométrie : 18 ans), Fort-Archambault (Pluviométrie, Températures, Humidité relative : 17 ans). Am Timan (Pluviométrie, Températures, Humidité relative : 17 ans).

La pluviométrie moyenne de la région de Singako est estimée à 1 000 mm. La comparaison des tracés des isohyètes annuels indiquerait un gradient inférieur à 100 mm pour un degré de latitude. La répartition mensuelle des pluies est la suivante, comparativement à celle d'Am Timan en climat Sahélo-Soudanais : (cf. Fig. 4).

PLUVIOMÉTRIE (MOYENNES MENSUELLES en mm)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Fort-Archambault (17 ans)	0	1,8	8,2	51,8	111,6	148,6	246,2	283,6	215,3	75,8	2,0	0	1 144,9
Kyabé (18 ans)	0	1,2	6,2	35,0	76,8	132,9	224,8	272,1	204,9	74,4	4,2	0	1 032,5
Am Timan (17 ans)	0	3,7	8,3	21,5	71,3	123,8	201,0	304,9	148,9	37,2	0	0	920,6

On note ainsi l'étalement de la saison pluvieuse sur au moins 6 mois, et les fortes précipitations durant les trois mois de juillet - août - septembre, avec un maximum en août moins accusé qu'en régime Sahélo-Soudanais (cf. Fig. 4).

L'irrégularité pluviométrique interannuelle est également moins forte : les pluviométries extrêmes observées sont les suivantes :

Kyabé (18 ans) : 1323,7 (1961) - 831,4 (1949).

Fort-Archambault (17 ans) : 1431,8 (1950) - 880,8 (1953).

La température moyenne annuelle peut être estimée à 27°5. Le régime thermique annuel est double, caractérisé par deux maxima, l'un absolu en mai, l'autre relatif en novembre et deux minima, l'un relatif en saison des pluies (avril) et l'autre absolu en hiver (décembre, janvier) (cf. Fig. 4).

TEMPÉRATURES (MOYENNES MENSUELLES en °C)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Fort-Archambault (17 ans)	Max.	36,5	38,1	39,2	37,9	35,4	32,6	30,5	29,9	31,0	32,9	35,1	35,4	34,5
	Min.	16,1	18,2	22,7	24,4	23,6	22,1	21,6	21,4	21,5	21,9	19,6	16,3	20,8
	Moy.	26,3	28,2	31,0	31,2	29,5	27,4	26,1	25,7	26,3	27,4	27,4	25,9	27,7
Am Timan (17 ans)	Max.	35,7	37,7	39,0	38,6	37,3	33,5	30,5	29,6	31,2	33,5	35,9	35,7	34,9
	Min.	12,8	14,9	20,0	21,1	22,3	21,4	20,7	20,6	20,4	19,3	15,4	12,7	18,5
	Moy.	24,2	26,3	29,5	29,9	29,8	27,4	25,6	25,1	25,8	26,4	25,7	24,2	26,7

L'amplitude thermique mensuelle reste forte et les écarts entre maxima et minima sont les plus importants en janvier.

L'hygrométrie moyenne est déjà élevée, accusant un minimum en février et des valeurs fortes en saison des pluies.

HUMIDITÉ RELATIVE (MOYENNE MENSUELLE en %)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Fort Archambault	36,7	31,3	39,1	53,0	65,1	74,4	82,3	84,5	82,9	76,6	60,0	45,0	60,9
Am Timan	35,6	29,0	32,0	40,4	52,3	72,1	79,1	84,8	82,6	75,3	56,0	43,3	45,0

Le régime pluviothermique de cette région est donc caractérisé par une longue saison pluvieuse (6 à 7 mois) associée à des températures élevées (27°5) bien que ces dernières représentent à cette période le minimum moyen annuel. En relation avec le maximum thermique de février-mars, l'évaporation accuse un maximum marqué avant l'arrivée des pluies, mais à l'échelle annuelle le pouvoir évaporant est déjà moins élevé qu'en régime sahélo-soudanais.

2 - L'EMPREINTE DE CLIMATS ANCIENS

Parmi les différents types de sol et de modelé que l'on observe actuellement dans cette région, certains résultent de conditions climatiques anciennes - généralement plus humides - dont l'empreinte persiste de nos jours. Il en est ainsi des sols profonds faiblement ferrallitiques des Koros et du cuirassement en bordure du Lac Iro, lié à la formation d'anciens sols ferrugineux tropicaux lessivés à cuirasse. Ces deux formations pédologiques correspondent à des conditions climatiques anciennes sensiblement plus humides, et elles sont actuellement conservées en subissant quelques modifications qui seront évoquées lors de l'étude de ces sols.

L'empreinte de climats plus arides est plus délicate à identifier et seules les levées sableuses bordant principalement le Bahr Keïta pourraient correspondre à un climat ou à un régime hydrologique de type sahélien.

LE RÉGIME HYDROLOGIQUE

La région étudiée est traversée d'est en ouest par les trois Bahrs : Salamat, Keïta et Aouk qui sont des affluents rive gauche du Chari ; ces trois Bahrs drainent un immense bassin versant limité par les massifs du Guéra, du Ouaddaï, du Darfour (Soudan) et de l'est Centrafricain ; or leurs apports au Chari sont particulièrement faibles comparés à la superficie et à la pluviométrie du bassin : ceux de l'Aouk ne représentent ainsi que le tiers du volume annuel du Chari à Fort-Archambault malgré un bassin versant de 125 000 km² contre 65 000 km² pour celui du Chari (J. RODIER - 1964).

C'est la très faible pente de leurs cours et corrélativement l'existence de très vastes plaines d'inondation où leurs eaux se mélangent, qui occasionnent des pertes considérables. Les débordements dans les plaines d'inondation étalent la crue, réduisent le débit maximal annuel à des valeurs très faibles (de l'ordre de 250 m³/s pour l'Aouk et 500 m³/s pour le Bahr Keïta) et reportent une partie des apports de saison des pluies vers l'étiage de sorte que l'écoulement est permanent.

Malgré ces modifications, le régime hydrologique est de type tropical pur pour l'Aouk et le Bahr Keïta et plutôt de type sahélien pour le Salamat qui est lui-même alimenté par les épandages du Bahr Azoum et par une série de cours d'eau sahéliens du Guéra.

Les hydrogrammes annuels sont assez comparables pour ces trois Bahrs : la période des basses eaux dure environ 6 mois de janvier à juin : les débits d'étiage sont particulièrement faibles (de l'ordre de quelques m³/s en mai) et proviennent de la restitution des zones d'inondation. Les premières pluies sont sans effet et la crue n'arrive généralement qu'en juillet pour atteindre assez régulièrement son maximum en septembre. La courbe de tarissement est régulière jusqu'en décembre. Suivant la pluviométrie annuelle, l'inondation débute durant le mois d'août et dure de 3 à 4 mois. Il semble que le Bahr Keïta, en raison d'une pente légèrement plus forte de son cours soit à même d'assurer un drainage un peu plus rapide de ses zones hautes d'inondation bien qu'il ait capté par érosion régressive une partie des plaines du Salamat.

Près des trois-quarts de la superficie de la feuille Singako sont plus ou moins influencés par des phénomènes d'inondation temporaire. Il y a en fait conjugaison des inondations fluviales à la saturation en eau des sols par les pluies : cet engorgement pluvial pouvant être réalisé début août, les débordements fluviaux s'opèrent donc généralement sur

des sols déjà saturés et peuvent prendre ainsi rapidement une extension considérable. Le modelé de ces plaines étant très faible, le drainage est irrégulièrement assuré et l'assèchement saisonnier se réalise d'abord par l'évacuation de la lame d'eau de submersion puis par l'assèchement proprement dit des sols.

Le régime hydrologique très particulier à ces régions, et dont les effets se conjuguent à ceux du climat, représente donc le facteur pédogénétique déterminant pour une très grande partie des sols de la carte.

LES RÉGIMES PLUVIOTHERMIQUE ET HYDROLOGIQUE CONSIDÉRÉS COMME FACTEURS DE PÉDOGÉNÈSE

En calculant l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) suivant L. TURC (1961), il est possible d'apprécier en fonction de la pluviométrie, les caractéristiques principales du régime hydrique des sols normalement drainés. Les données générales sur les régimes hydrologiques permettent en outre de caractériser grossièrement d'autres types de régime hydrique concernant les sols à drainage déficient ou soumis à des inondations saisonnières.

1 - LES CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU RÉGIME HYDRIQUE DES SOLS NORMALEMENT DRAINÉS

La comparaison des valeurs moyennes mensuelles d'E. T. P. calculée et de la pluviométrie montre d'abord qu'à l'échelle annuelle, l'alimentation en eau des sols est nettement déficitaire : le coefficient d'humidité annuel ($MC = \frac{P}{E}$: VISOTSKY - IVANOV) étant inférieur à 1 et de l'ordre de 0,6.

A l'échelle mensuelle, la pluviométrie n'est supérieure à l'évapotranspiration que pendant près de quatre mois (juin à septembre) et pour un total légèrement supérieur à 400 mm (cf. Fig. 5).

Les caractéristiques générales du régime hydrique des sols drainés seraient alors les suivantes :

En début de saison des pluies, et notamment d'avril à fin mai, la totalité des précipitations pénétrant dans le sol est évapotranspirée : la végétation démarre et l'E.T.P. est encore relativement élevée. A cette époque, le sol est périodiquement et partiellement humide : cette saison est donc déjà active au point de vue pédogénétique notamment par des transformations biochimiques du stock organique.

En juin, lorsque la pluviométrie devient supérieure à l'E. T. P. - qui diminue - l'excédent des précipitations amène le sol à sa capacité de rétention et ainsi se reconstituent les réserves en eau du sol. A ce stade, qui doit généralement être atteint fin juillet-début août et qui correspond au minimum de l'E. T. P., l'excédent des précipitations draine en dehors du profil, si celui-ci admet un drainage interne normal. Dans ce cas,

COMPARAISON DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE
ET DE LA PLUVIOMÉTRIE
(Moyennes mensuelles)

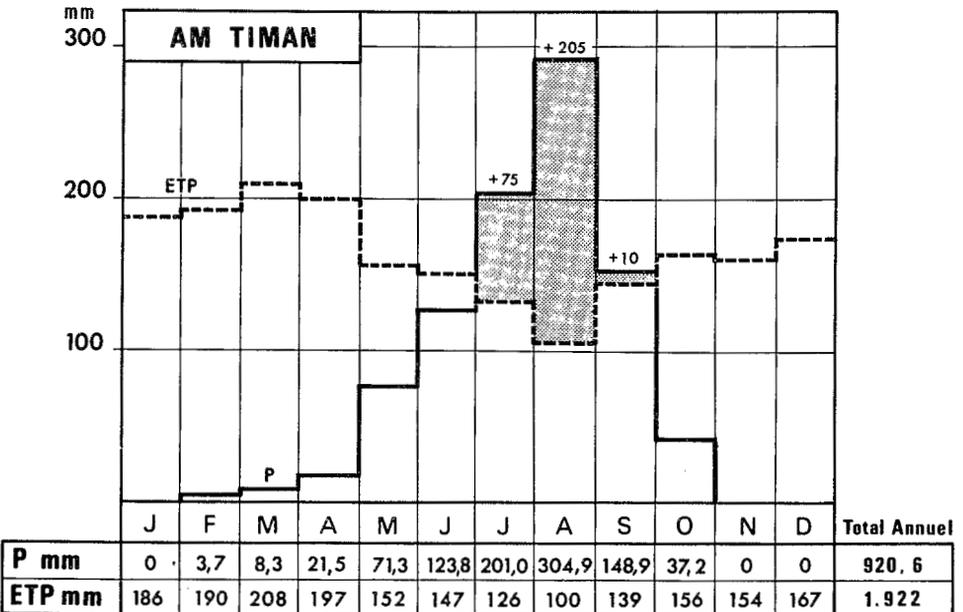
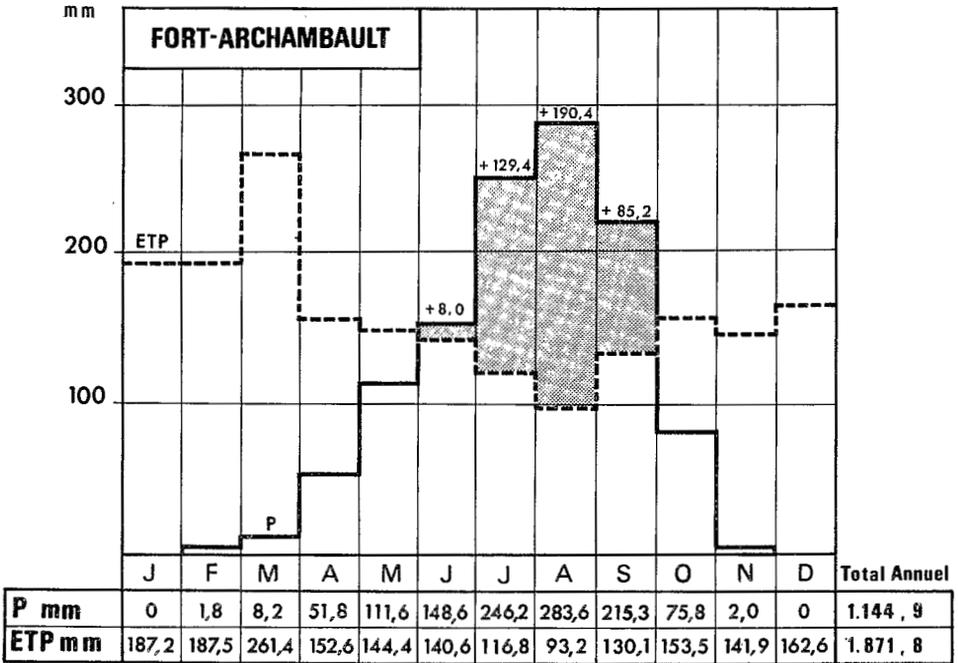


Figure 5

le drainage qui s'effectuerait d'août à fin septembre pourrait représenter environ 300 mm pour un sol sableux. C'est à cette époque - en conditions humide et chaude - que l'énergie pédoclimatique peut être la plus forte et que peuvent s'exercer notamment les processus de lessivage, d'hydrolyse et de néosynthèse.

En octobre, lorsque la pluviométrie devient inférieure à l'E.T.P., l'eau stockée dans le sol est utilisée par la végétation: c'est la phase d'épuisement des réserves s'étendant jusqu'en novembre-décembre et conduisant au flétrissement des plantes.

2 - LES TYPES DE RÉGIME HYDRIQUE DES SOLS IMPARFAITEMENT DRAINÉS

Dans le cas de sols mal drainés, après la reconstitution des réserves début août, l'eau excédentaire provoque des engorgements intéressant une plus ou moins grande partie du profil. Si le sol admet néanmoins un certain drainage externe, seuls les horizons profonds peuvent être affectés par cet engorgement temporaire : (Sols hydromorphes à engorgement temporaire de profondeur). Si le drainage externe est lui-même déficient, par la simple accumulation pluviale le sol peut être alors engorgé temporairement dans son ensemble. Mais très fréquemment dans ces zones alluviales très planes, s'ajoutent à l'engorgement pluvial - réalisé partiellement ou totalement dès le mois d'août - des apports d'eau supplémentaires par débordement fluvial qui provoque la submersion temporaire des sols par une lame d'eau d'épaisseur variable.

La durée de la submersion et des engorgements dépend du régime hydrologique, des conditions générales et locales de drainage et de l'évaporation directe sur les nappes d'eau libre précédant l'évapotranspiration qui ne s'exercera elle-même qu'après la disparition de ces eaux de surface. Le retrait et l'assèchement des eaux semble devoir s'effectuer en deux temps, en relation avec la présence locale de légers niveaux topographiques dans ces plaines : le premier temps correspond à la restitution des eaux d'inondation aux axes du drainage du réseau hydrographique : bien que lente et progressive cette restitution provoque non seulement la fin de la submersion des plaines relativement hautes (0,5 à 1,5 m) mais également le drainage de la partie supérieure des sols. Ce drainage se manifeste par les phénomènes très fréquents d'érosion en chenaux souterrains provoquant des effondrements superficiels à la bordure des plaines hautes ou le long des colatures. Les sols hydromorphes de ces plaines relativement hautes sont précisément caractérisés par la présence d'un pseudo-gley entre un gley de surface et un gley de profondeur alors que les sols des plaines basses sont à gley d'ensemble.

Ces deux derniers types de régime hydrique semblent fréquemment réalisés dans les plaines d'inondation de la cuvette tchadienne : ils se manifestent également dans les plaines occupées par des vertisols mais les relations entre les caractères morphologiques et les phénomènes d'engorgement apparaissent moins bien exprimées que dans les sols hydromorphes de cette feuille Singako.

LES ROCHES MÈRES, LE MODELÉ ET LES MATÉRIAUX ORIGINELS DES SOLS

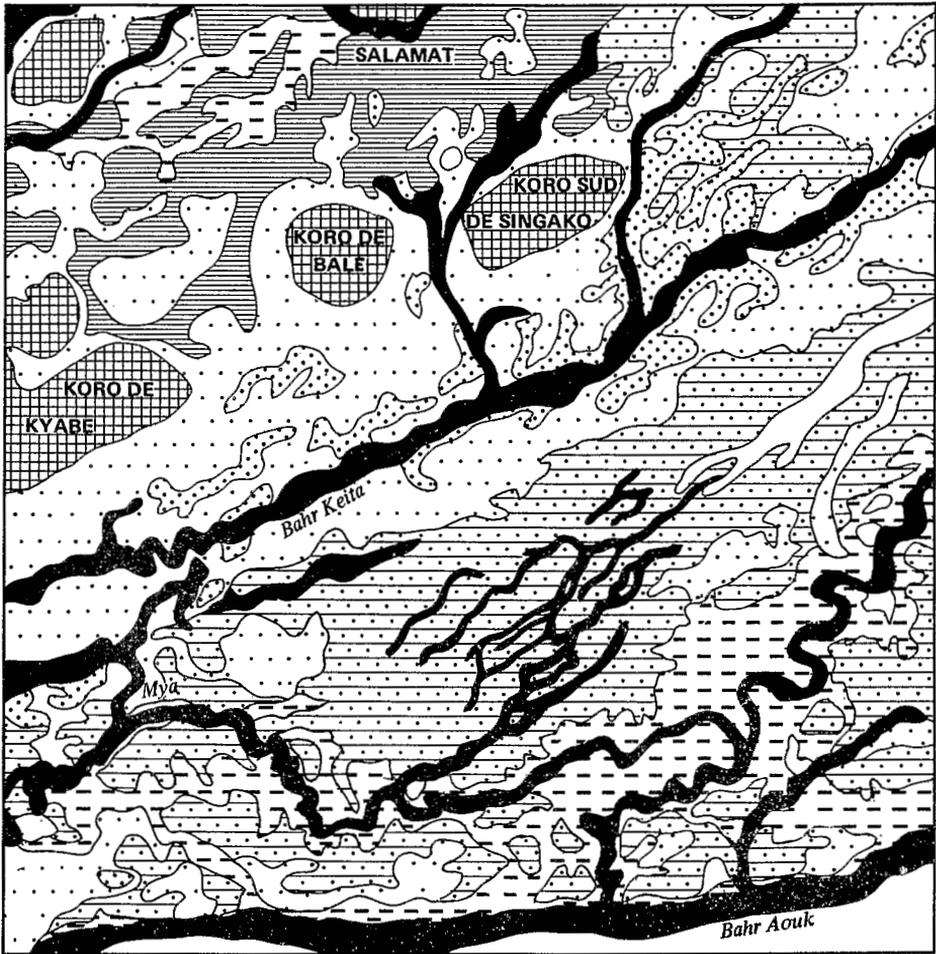
I - LES PRINCIPALES FORMATIONS GÉOLOGIQUES

Dans cette partie du bassin de l'Aouk-Salamat, compris entre le massif granitique du Guéra et le socle de la région de N'Délé (Rép. Centrafricaine), les formations géologiques sont essentiellement sédimentaires, horizontales, et d'âge récent : tertiaire et quaternaire. Ce sont les grès du Continental Terminal et des dépôts fluviolacustres quaternaires.

- Le Continental Terminal, gréseux, ne se présente pas sous forme d'affleurements véritables mais il constitue le matériau originel des sols profonds des "Koros". Il représente également la base du piedmont cuirassé ceinturant le Lac Iro. Enfin il est à l'origine de divers matériaux, colluviaux ou alluviaux occupant de grandes surfaces au sud de la zone des Koros (R. DELAFOSSÉ. 1960).
- Les dépôts fluviolacustres quaternaires. Depuis la fin tertiaire, cette partie du bassin de l'Aouk-Salamat a été l'objet de diverses sédimentations fluviolacustres. Pour J. MERMILLOD (1963), cette région de la feuille Singako a pu correspondre à une zone lacustre et fluviale de piedmont comprise entre un cône deltaïque tertiaire de l'Azoum à l'est et, à l'ouest, un "barrage" formé par la zone des Koros, dominant la cuvette de Fort-Archambault. Les principales alluvions observées sont les suivantes :
 - Alluvions anciennes, argilo-sableuses, dérivées du Continental Terminal (entre Bahr Keïta et Aouk).
 - Alluvions anciennes, argileuses du Salamat.
 - Alluvions sableuses du Bahr Keïta.
 - Alluvions récentes (bourrelets), argileuses à argilo-limoneuses, micacées, représentant d'anciens cours du Salamat et de l'Aouk.
 - Alluvions actuelles.

Le modelé, la répartition et la nature de ces formations fluviolacustres seront successivement examinés.

RÉPARTITION DES PRINCIPALES UNITÉS GÉOMORPHOLOGIQUES ET DES MATÉRIAUX ORIGINELS



-  Continental terminal. Koros et piedmont cuirassé
-  Matériaux dérivés du C.T. Périphérie exondée des Koros et plaines inondées
-  Alluvions anciennes du C.T. : Plaines inondées
-  Alluvions anciennes du Salamat : Plaines inondées
-  Alluvions sablo argileuses : levées exondées
-  Dépôts récents des bourrelets : en limite d'inondation
-  Vallées actuelles

Figure 6

II - LE MODELÉ

Hormis la présence au coin nord-est de la feuille de plusieurs lambeaux de piedmont cuirassé ceinturant le Lac Iro, la morphologie de cette région est dominée par le contraste formé par les trois Koros de Kyabé, Balé et Sud-Singako se présentant comme des fles au milieu des vastes plaines alluviales d'inondation.

A - Le piedmont cuirassé de la rive droite du Salamat

Cette unité géomorphologique n'occupe qu'1 % de la superficie de la carte : elle correspond à la bordure méridionale extrême de l'auréole de cuirassement ferrugineux formée sur les piedmonts entourant le massif du Guéra. Cette surface cuirassée principalement localisée dans la région de Tousa et Malé est subhorizontale et se situe à une côte voisine de 395 mètres, ne dominant que de quelques mètres le cours du Salamat et les plaines alluviales ; elle est formée d'anciens épandages grossiers dérivés du Continental Terminal (principalement des graviers quartzeux), qui ont été le siège d'une accumulation d'hydroxydes de fer (cuirassement), liée à la formation ancienne de sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et cuirasses ferrugineuses.

B - Les Koros

Ce sont les seuls reliefs existant dans cette région, émergeant de 40 à 50 mètres des plaines alluviales soumises à des inondations saisonnières. Ces reliefs, constitués de matériaux du Continental Terminal, ont la forme de dômes isolés, alignés W.S.W-E.N.E et leur hauteur diminue vers l'est. Les pentes sont douces, convexes, avec une courte surface de raccordement concave aux plaines basses. Leur forme est circulaire (Koro de Balé) ou elliptique (Koro Sud de Singako) et des vallées les entaillent de préférence sur leur face est. Dans la partie centrale des Koros, ce sont des sols faiblement ferrallitiques qui se sont différenciés à partir des matériaux du Continental Terminal, alors que la bordure est occupée par des sols ferrugineux tropicaux lessivés. Seule la périphérie des Koros est habitée et exploitée en raison de la proximité de la nappe phréatique.

C - Les zones alluviales

Se caractérisant par leur grande uniformité et leur très faible relief, elles représentent près de 75 % de la superficie de la carte. Leur morphologie et leurs diverses formations correspondent aux différentes phases de la sédimentation fluvio-lacustre dans ce bassin depuis la fin tertiaire (J. PIAS - 1964). Ce sont (cf. Fig. 6) :

1 - LES ALLUVIONS ANCIENNES ARGILO-SABLEUSES A ARGILEUSES. Elles se superposent à des matériaux dérivés du Continental Terminal et généralement de type colluvial au voisinage des Koros. Ces alluvions anciennes sont de deux types :

- Des alluvions argileuses du Salamat, occupant des surfaces importantes entre le Bahr Salamat et l'alignement des Koros. D'une épaisseur de 2 à 4 mètres cette formation peut être localement entaillée ou recouverte par des dépôts plus récents. Cette zone alluviale, comprenant notamment la plaine de Ganatir, est saisonnièrement inondée par débordement du Salamat mais son drainage est désormais en grande partie effectué par des affluents du Bahr Keïta (Minia, Koro, Lala), qui par une intense érosion régressive ont atteint sa bordure méridionale. Cette formation est également dénommée "Argile à nodules calcaires" et les sols qui en dérivent sont des vertisols hydromorphes présentant généralement un micro-relief superficiel de type "gilgaï".

- Des alluvions argilo-sableuses dérivées du Continental Terminal. Au sud de l'alignement des Koros de Kyabé, Balé et Sud Singako, elles présentent une extension générale et il est souvent difficile de les distinguer des formations colluviales ou en place du Continental Terminal : leur composition granulométrique est en particulier très voisine et les phénomènes d'engorgement qui les affectent déterminent des faciès analogues. Ces dépôts dont les caractères apparaissent particulièrement constants sur de vastes surfaces pourraient correspondre à une sédimentation de type fluvio-lacustre contemporaine de celle du Salamat mais rendue assez indépendante par la barrière qu'aurait constitué alors l'alignement des Koros. Ce sont des sols hydromorphes soumis à un engorgement et à des inondations de plus ou moins longue durée, qui occupent ces vastes plaines inhabitées.

2 - LES ALLUVIONS SABLEUSES A SABLO-ARGILEUSES. Elles recouvrent les deux formations précédentes sous forme d'alignement en relief, actuellement exondées, généralement parallèles aux cours anciens ou actuels des principaux bahrs. Ce sont d'anciennes levées sableuses déposées par les bahrs lors de l'établissement de leur cours dans les formations anciennes. Presque inexistant dans le bassin du Salamat, ce type de dépôt est le plus fréquent le long du Bahr Keïta ; il existe également dans les vallées de l'Aouk et de la Mya mais se présente alors sous forme de dépôts localisés à l'intérieur d'anciens méandres. Sur ces buttes sableuses exondées où se concentre l'activité humaine, les sols sont du type ferrugineux tropical lessivé.

3 - LES DÉPÔTS ARGILEUX A ARGILO-LIMONEUX RÉCENTS DES BOURRELETS. Reposant sur les formations précédentes ou accolés aux levées sableuses, ils sont localisés le long des systèmes alluviaux actuels ou récents du Bahr Salamat, de la Mya et de l'Aouk. Ils sont absents dans la vallée du Bahr Keïta. Constitués d'éléments fins,

avec généralement présence de micas, ces dépôts de débordement forment des bourrelets ; en s'éloignant du lit la texture argilo-limoneuse des matériaux s'affine jusqu'à celle des argiles de décantation dans les mares temporaires voisines. Certains de ces bourrelets qui ne sont plus reliés à des écoulements actuels, indiquent avec précision le tracé d'anciens cours dans les vallées du Salamat (région de Dongo) et de la Mya (entre Gondéy et Kayengo). Ces bourrelets, dont le niveau n'est que légèrement supérieur à la limite d'inondation, sont fréquemment le siège d'une accumulation de sels et de cations, qui induit la formation de sols halomorphes lessivés (solonetz solodisés hydromorphes).

Il apparaît ainsi que le modelé de cette région est sous la dépendance étroite de l'évolution du réseau hydrographique dans cette partie du bassin de l'Aouk-Salamat. La répartition et la nature des différents dépôts suggèrent la succession des phases suivantes depuis la fin tertiaire :

- Des conditions fluvio-lacustres - peut-être créées par la barrière que constituaient les Koros à l'ouest (J. MERMILLOD - 1963) - seraient à l'origine du dépôt de sédiments argileux, homologues mais différents dans les secteurs du Salamat et du Keïta-Aouk, alors séparés par des reliefs continus allant de Kyabé à Singako.
- Ces formations fluvio-lacustres anciennes sont entaillées par trois axes fluviaux sensiblement parallèles : Salamat, Bahr Keïta, Bahr Aouk, qui ont dû franchir le barrage formé à l'ouest par les Koros pour se déverser dans la cuvette de Fort-Archambault où confluent le Chari et le Bahr Sara. L'entaille la plus importante est réalisée par le Bahr Keïta qui sur sa rive droite isole les différents Koros, et est le seul à déposer le long de ses rives des levées sableuses.
- Alors que le Bahr Keïta poursuit son creusement en atteignant les dépôts anciens du Salamat, les cours du Salamat et des affluents de l'Aouk deviennent divagants et par débordement créent des bourrelets avec des alluvions fines micacées.

L'évolution hydrographique de cette partie du bassin de l'Aouk-Salamat s'est donc réalisée au bénéfice du Bahr Keïta alors que l'Aouk collecte principalement les écoulements en provenance de République Centrafricaine et que le Salamat draine les épandages de crue du Bahr Azoum.

III - LES PRINCIPAUX MATÉRIAUX ORIGINELS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

Une étude granulométrique portant sur 50 échantillons de matériaux originels a permis de préciser les caractéristiques texturales de ceux-ci pour chacune des principales unités morphologiques précédemment examinées. Aux grandes catégories de matériaux originels ainsi définies correspondent approximativement les principales unités pédologiques reconnues et cartographiées dans cette feuille Singako.

TEXTURE DES MATÉRIAUX ORIGINELS

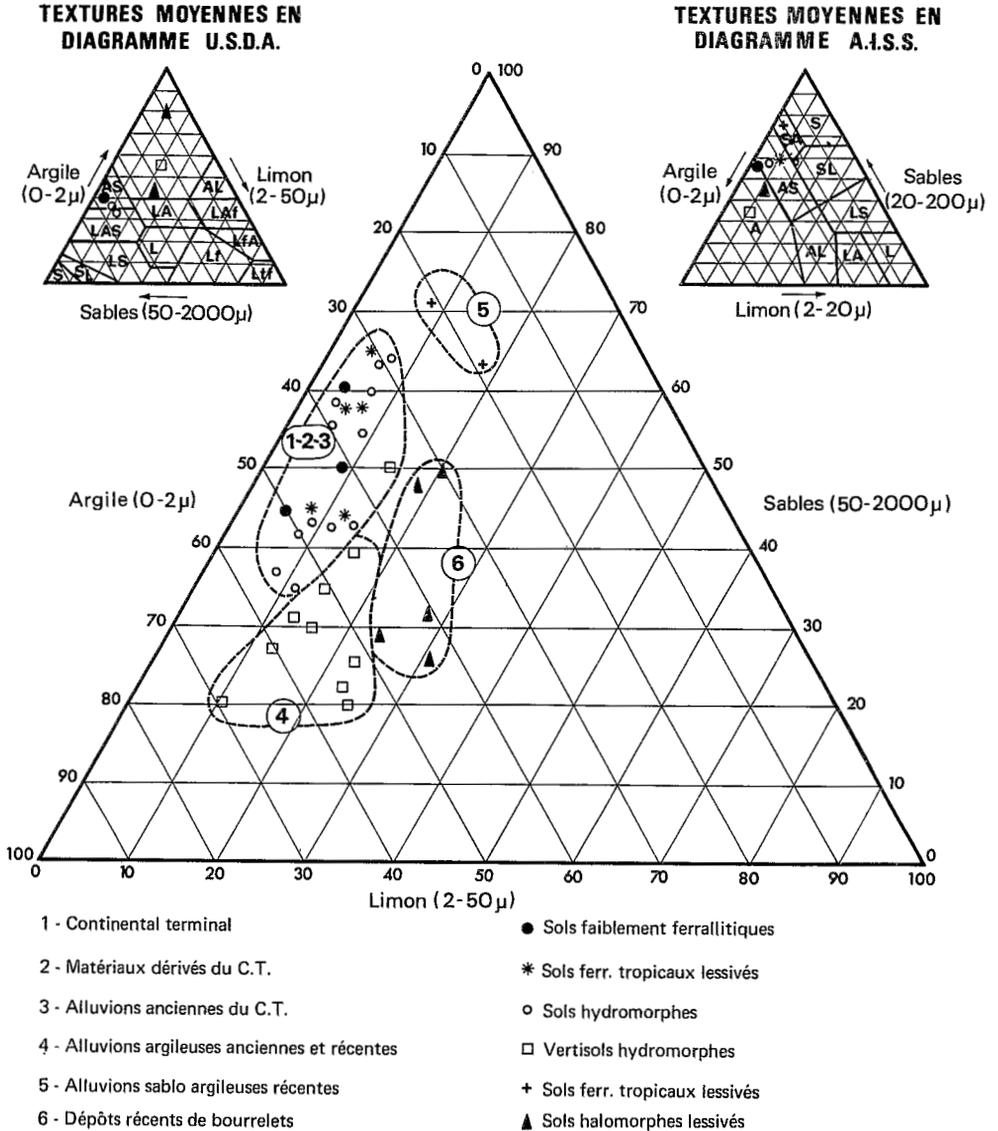


Figure 7

La composition texturale moyenne des matériaux originels, représentée graphiquement dans les figures 7-8 est la suivante :

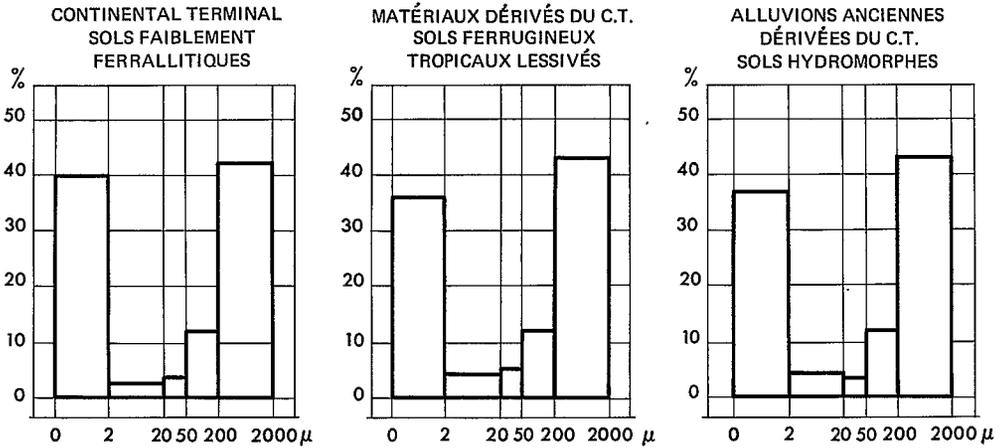
	Nbre Ech.	Argile 2 μ	Limon fin 20	Limon gros. 50	Sables fins 200	Sables gros. 2000
1. Continental Terminal (Sols ferrallitiques)	4	40	2,5	3,5	12	42
2. Matériaux dérivés du C.T. (Sols ferr. trop. lessivés)	8	36	4	5	12	43
3. Alluvions anciennes C. T. (Sols hydromorphes)	17	37	4,5	3,5	12	43
4. Alluvions anciennes Salamat (Vertisols)	9	55	8	12	13	12
5. Alluvions sableuses (Sols ferr. trop. lessivés)	3	21	4	8	32	35
6. Dépôts récents de bourrelets (Sols halom. lessivés)	9	44	10	13	25	8

Les faits suivants peuvent être dégagés :

- Pour les trois premiers types de matériaux correspondant à des produits en place ou remaniés à partir du Continental Terminal (partie centrale des Koros - bordure des Koros et alluvions anciennes dérivées du C. T.), les granulométries sont remarquablement constantes. Définies comme argilo-sableuses (A.I.S.S.), ces textures sont caractérisées par la faiblesse des teneurs en limon total (de 6 à 9 %) et la dominance des sables grossiers sur les sables fins : la fraction sableuse étant presque exclusivement quartzreuse.
- Les autres matériaux, d'origine alluviale mais d'âges variés, présentent des caractéristiques texturales tout à fait différentes :
 - les alluvions argileuses anciennes du Salamat (4) accusent de fortes teneurs en argile et en limon et leur fraction sableuse se partage également entre les sables fins et les sables grossiers,
 - les alluvions sableuses à sablo-argileuses (Bahr Keïta) (5) se caractérisent également et contrairement aux alluvions dérivées du Continental Terminal; par des teneurs égales en sables fins et grossiers et par des taux de limon plus élevés,
 - les dépôts récents à caractère limoneux des bourrelets (6) présentent de fortes teneurs en argile et surtout en limon; les sables fins dominent dans la fraction sableuse. Les teneurs en micas peuvent être très élevées dans ces dépôts.

GRANULOMÉTRIES MOYENNES DES MATÉRIAUX ORIGINELS DES PRINCIPALES UNITÉS PÉDOLOGIQUES

Matériaux Dérivés du Continental terminal



Matériaux Alluviaux

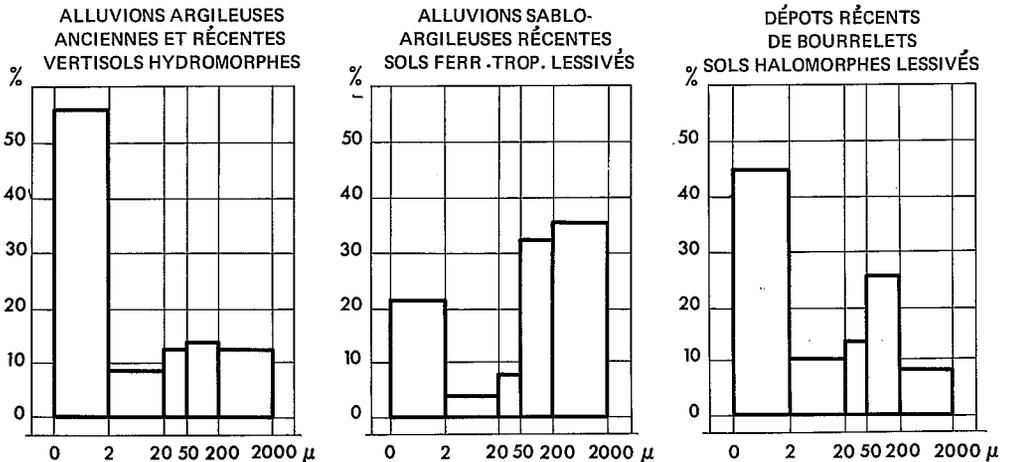


Figure 8

Bien que les variations de la composition granulométrique puissent être continues entre certains dépôts alluviaux suivant leur répartition dans le temps et l'espace, il apparaît donc possible de caractériser granulométriquement un certain nombre de catégories de matériaux originels à partir desquels se sont différenciées les principales unités pédogénétiques.

La capacité d'échange de la fraction argileuse de ces divers matériaux varie dans un rapport de 1 à 5, et présente les valeurs suivantes (T/A) reportées graphiquement sur la Planche 9 :

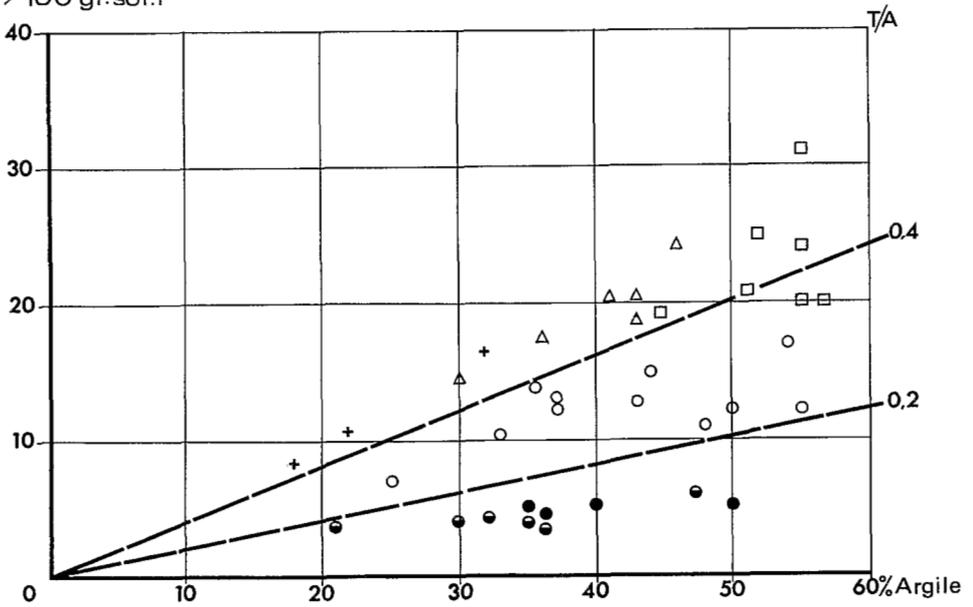
	Nbre	Capacité d'échange de la fraction argileuse : T/A	
		Ech.	Compris entre
1. Continental Terminal (Sols ferrallitiques)	4	0,10 à 0,14	0,12
2. Matériaux dérivés du C.T. (Sols ferr. trop. lessivés)	8	0,11 à 0,16	0,13
3. Alluvions anciennes du C.T. (Sols hydromorphes)	17	0,22 à 0,40	0,30
4. Alluvions anciennes Salamat (Vertisols)	9	0,35 à 0,55	0,43
5. Alluvions sableuses (Sols ferr. trop. lessivés)	3	0,47 à 0,51	0,48
6. Dépôts récents des bourrelets (Sols halomorphes lessivés)	9	0,40 à 0,50	0,46

Parmi les trois premiers types de matériaux qui présentent des granulométries analogues, deux ont des capacités d'échange du même ordre alors que le troisième, correspondant aux alluvions anciennes du C.T., a une capacité d'échange double, pour une même teneur en argile. Les faibles capacités d'échange des deux premières formations correspondent très vraisemblablement à la présence de minéraux argileux de type kaolinite, caractéristique du Continental Terminal ; il est donc supposé que les alluvions anciennes dérivées du C.T. - étant donné leur identité granulométrique - ont pu "acquérir" un autre type de minéral argileux à plus forte capacité d'échange comme la montmorillonite ; il pourrait s'agir de néo-synthèse argileuse en relation avec les conditions saisonnières d'engorgement auxquelles sont soumis ces matériaux alluviaux.

Les capacités d'échange des autres alluvions (4.5.6) sont de l'ordre de 3 à 4 fois supérieures à celles des matériaux directement issus du Continental Terminal ; elles suggèrent la présence d'une plus grande

CAPACITÉ D'ÉCHANGE DES MATÉRIAUX ORIGINELS

Capacité d'échange
mé / 100 gr. sol : T



- 1 ● Continental terminal (Sols faiblement ferrallitiques)
- 2 ● Matériaux dérivés du C.T. (Sols ferr. tropicaux lessivés)
- 3 ○ Alluvions anciennes du C.T. (Sols hydromorphes)
- 4 □ Alluvions argileuses anciennes et récentes (Vertisols)
- 5 + Alluvions sablo argileuses récentes (Sols ferr. tropicaux lessivés)
- 6 △ Dépôts récents de bourrelets (Sols halomorphes lessivés)

Figure 9

proportion de minéraux argileux type illite sinon la présence d'une certaine quantité de montmorillonite. L'existence d'une importante fraction micacée dans les dépôts récents (6) souligne l'origine plus lointaine de ces alluvions (roches granitiques et métamorphiques des régions du Guéra, Ouaddaï et de la République Centrafricaine).

La représentation graphique de la figure 9 précise cette distribution des capacités d'échange des matériaux en trois groupements principaux définis par les valeurs limites T/A de 0,2 et 0,4. Seules les alluvions argileuses présentent une dispersion notable dont il peut être rendu compte en sachant que les valeurs voisines ou inférieures à 0,4 correspondent aux alluvions argileuses anciennes du Salamat et que celles supérieures à cette valeur concernent des alluvions récentes du type des dépôts argileux de décantation.

LA VÉGÉTATION

ET L'ACTION DE L'HOMME

I - LES PRINCIPALES FORMATIONS VÉGÉTALES

Cette partie du bassin de l'Aouk-Salamat appartient à la province botanique boréale des "Forêts claires et savanes boisées soudano-guinéennes à légumineuses dominantes" (A. AUBREVILLE - 1950 - A. GRONDARD - 1964).

Ces formations climatiques n'occupent en fait dans cette feuille Singako que des surfaces assez faibles et ne sont bien représentées que par les formations des forêts claires et savanes boisées des Koros. Sur la plus grande partie de la carte, dominant en effet d'autres formations correspondant aux conditions édaphiques particulières que représentent les plaines inondées généralement argileuses et leur bordure où s'observent notamment des forêts claires en flots.

Les principales formations végétales observées se relient assez étroitement aux unités géomorphologiques et pédologiques ; ce sont :

1 - Les forêts claires et savanes boisées des Koros et du piedmont cuirassé

Elles sont fréquemment bien conservées au centre des Koros où elles n'ont pas été l'objet de défrichement en raison de la profondeur des nappes limitant toute implantation humaine. Les Koros sont alors recouverts d'une forêt claire à dominance de légumineuses, souvent dense mais basse. Les espèces les plus fréquemment observées sont : *Daniellia oliveri*, *Prosopis africana*, *Burkea africana*, *Khaya senegalensis*, *Pterocarpus lucens*, *Terminalia laxiflora* ; le sous-bois est à *Hymenocardia acida*, *Detarium microcarpum*, *Combretum velutinum*, *Grewia mollis*, *Strychnos sp.* Cette formation correspond aux sols rouges faiblement ferrallitiques qui sont des sols profonds, perméables et bien drainés.

Sur le piedmont cuirassé, les forêts claires et savanes boisées présentent des variations en fonction de la profondeur à laquelle se situe la cuirasse ferrugineuse. Dans la strate arborée, apparaissent *Anogeissus leiocarpus*, *Sterculia setigera*, *Tamarindus indica*, et les combretacées sont plus nombreuses dans le sous-bois. Du point de vue physionomique cette formation est moins homogène : elle devient plus basse et avec tendance à la formation d'flots lorsque la cuirasse est à faible profondeur ;

la végétation peut même se réduire à quelques *Bauhinia reticulata* et *Gardenia sp.* bordant des mares temporaires sur cuirasse subaffleurante (bowal de la région de Malé). Les sols, peu épais, passent du type ferrugineux tropical lessivé sur cuirasse ancienne, au type hydromorphe à gley.

Par ailleurs, un faciès anthropique de ces formations s'observe à la périphérie des Koros et sur les buttes sableuses exondées où se concentre l'activité agricole. Sur des sols ferrugineux tropicaux lessivés profonds mais fréquemment marqués par des phénomènes d'engorgement en profondeur, la mise en culture a favorisé l'implantation d'*Anogeissus leiocarpus* (A. GRONDARD - 1964) et de *Butyrospermum Parkii*, *Parkia biglobosa*. La jachère est caractérisée par le développement des *Combretum* sinon de *Guiera senegalensis* ou d'*Anona senegalensis* et *Grewia mollis*. La strate herbacée est à base d'*Andropogon*, *Ctenium elegans*, *Eragrostis tremula*.

2 - Les savanes arborées claires des plaines d'inondation

Malgré l'existence de termes de passage, deux faciès végétaux peuvent être distingués, qui apparaissent être en relation avec un faible modelé alluvial créant des différences dans la hauteur et la durée d'inondation. Ces deux faciès, différant par leur composition floristique et leur densité de peuplement, sont assez facilement identifiables sur photographies aériennes. Il a été possible de délimiter ainsi dans certains cas les deux types de sols hydromorphes auxquels ils correspondent : sols hydromorphes à gley et pseudo-gley ou à gley d'ensemble.

- Les savanes arborées claires à *Combretum* et *Anogeissus*. A ces deux espèces dominantes sont associés *Terminalia macroptera* ; *Acacia sieberiana* et une strate arbustive à *Gardenia sp.*, *Bauhinia reticulata* : la strate herbacée, haute et parfois établie sur touradons, est à base d'*Andropogonées* (généralement brûlées en saison sèche).

- Les savanes arborées très claires à *Terminalia macroptera*. Elles correspondent aux plaines les plus basses, les plus intensément inondées (gley d'ensemble). Les peuplements de *Terminalia macroptera* peuvent être purs ou en association avec quelques *Anogeissus leiocarpus*. La strate arbustive est souvent absente et *Hyparrhenia rufa* domine fréquemment dans le tapis graminéen.

Localement, ces formations présentent une tendance au regroupement de leurs espèces arborées en flots (ou "bouquets" : A. GRONDARD - 1964) généralement établis sur des termitières.

3 - Les forêts claires en îlots

Cette formation forestière discontinue s'observe dans des zones alluviales se situant à la limite d'inondation et généralement occupées par des sols halomorphes lessivés (solonetz solodisés hydromorphes) ; elle consiste en des bouquets de végétation localisés sur des termitières,

émergeant comme des flots, et dominant des espaces de savanes nues ou très faiblement arbustives. Dans les flots sont associés un étage arboré à *Anogeissus leiocarpus*, *Tamarindus indica*, *Khaya senegalensis*, *Acacia hebecladoides*, *Diospyros mespiliformis*, à un fourré composé d'*Acacia ataxacantha*, *Boscia senegalensis*, *Bauhinia reticulata*, *Capparis sp.*, *Grewia sp.*, *Sanseveria sp.*, *Cissus quadrangularis*. Au pied de l'flot se regroupent souvent quelques *Lansea humilis*. Entre les flots, les arbustes sont absents ou très clairsemés (*Combretum*). Cette formation originale est également facilement identifiable sur photographies aériennes.

4 - Les savanes herbeuses des plaines d'inondation

Certaines plaines alluviales inondées, de texture argileuse, comme les plaines de Ganatir, de Dongo ou comme certains lits abandonnés de la Mya (région de Gondey), sont recouvertes d'une savane herbeuse où les arbustes sont rares (*Bauhinia reticulata*, *Acacia seyal*) sinon totalement absents. Ces zones pouvant être longuement submergées, correspondent à la présence de vertisols hydromorphes ou de sols hydromorphes à gley d'ensemble dans certaines mares. Le tapis graminéen est essentiellement constitué d'Andropogonées (*Hyparrhenia rufa*, *Andropogon sp.*) et dans les zones basses dominant *Echinochloa pyramidalis* et *Oryza Barthii*. Dans la région de l'Aouk, ces savanes herbeuses sont fréquemment bordées par des peuplements de *Mitragynas* (*Mitragyna inermis*).

5 - La végétation des bourrelets exondés

Elle est physionomiquement très variée, depuis la savane arbustive très clairsemée et irrégulière à *Lansea humilis* (région de Dongo) jusqu'à la galerie forestière de l'Aouk. A la dominance des sols halomorphes lessivés sur ces bourrelets, correspondent soit des végétations arbustives très clairsemées à *Lansea humilis*, *Acacia seyal* dans la partie nord de la feuille, soit des forêts claires irrégulièrement denses à *Anogeissus leiocarpus*, *Diospyros mespiliformis*, *Combretum sp.* et *Lansea humilis*, dans le bassin de l'Aouk.

La végétation de cette région de Singako est donc plus variée physionomiquement que floristiquement. Il existe par ailleurs de bonnes corrélations générales entre les différents paysages végétaux et les principaux types de sols.

II - L'ACTION DE L'HOMME

Elle correspond principalement à une dégradation de la végétation naturelle, par la mise en culture, par le feu et par l'activité pastorale traditionnelle.

Cette dernière activité est localisée au nord des Koros de Kyabé, Balé et Singako où se limite la transhumance saisonnière.

La mise en culture n'intéresse que de très faibles surfaces estimées à moins de 10 % de la superficie de la feuille, sur les 25 % que représentent les zones exondées. La population est concentrée à la périphérie des Koros ou plus rarement sur les bourrelets exondés. C'est donc principalement sur les sols ferrugineux tropicaux lessivés de la bordure des Koros et des levées sableuses que sont pratiquées les deux cultures sèches principales du coton et du mil (*Sorghum*). S'y ajoutent diverses cultures traditionnelles : maïs, manioc, patate douce, tabac...

Hormis quelques rares cultures de riz en sols hydromorphes, la bordure de certaines zones inondées (vertisols) est surtout cultivée en sorgho de décrue.

Les immenses plaines d'inondation comprises entre les Bahrs Keïta et Aouk sont dans leur partie orientale totalement inhabitées et inexploitées; elles sont néanmoins soumises saisonnièrement au passage des feux.

Deuxième Partie

ÉTUDE DES SOLS

CLASSIFICATION ET LÉGENDE PÉDOLOGIQUE

La classification générale des sols utilisée est celle présentée par G. AUBERT au colloque C.C.T.A. de LOVANUM en 1963 ; c'est une classification pédogénétique dans laquelle "les sols sont rassemblés en classes et sous-classes" en fonction de leur mode d'évolution et de l'intensité de celle-ci...

"Les classes et les sous-classes sont subdivisées en groupes de sols définis par des caractères morphologiques du profil correspondant à des "processus d'évolution de ces sols... Les groupes comprennent en général "plusieurs sous-groupes dont les caractères essentiels des profils sont "les mêmes, mais qui sont différenciés soit par une intensité variable "- d'une catégorie à l'autre du processus fondamental d'évolution du "groupe, soit par la manifestation d'un processus secondaire, indiquée "par certains éléments nouveaux du profil... A l'intérieur des sous-"groupes sont distinguées des familles de sols en fonction des caractères "pétrographiques de la roche-mère ou de leur matériau originel".

Dans cette carte de reconnaissance au 1/200 000e, les unités pédologiques cartographiées se situent au niveau du sous-groupe et de la famille : la classification régionale adoptée est donnée par la légende pédologique de la carte, reprise ci-dessous. Cette légende définit également le plan général de l'étude monographique des sols, faisant l'objet du chapitre suivant.

LÉGENDE PÉDOLOGIQUE

SOLS PEU ÉVOLUÉS

- D'origine non climatique
 - . D'apport
 - = Sols peu évolués d'apport hydromorphes
 - + Famille sur alluvions récentes et actuelles de texture variée.

VERTISOLS

- Vertisols hydromorphes
 - . Avec début de structure fine en surface
 - = Vertisols avec abondantes ségrégations d'hydroxydes (gley de surface)
 - + Famille sur alluvions argileuses

SOLS A SESQUIOXYDES FORTEMENT INDIVIDUALISÉS ET A HUMUS A DÉCOMPOSITION RAPIDE

- Sols ferrugineux tropicaux
 - . Lessivés
 - = généralement à taches, avec ou sans concrétions
 - + Familles sur matériau sablo-argileux dérivé du Continental Terminal ou sur alluvions sablo-argileuses, micacées
 - + Famille sur ancienne cuirasse ferrugineuse.
- Sols ferrallitiques
 - . Sols faiblement ferrallitiques
 - = modaux
 - + Famille sur matériau argilo-sableux du Continental Terminal.

SOLS HALOMORPHES

- A structure modifiée et argile dégradée.
 - . Lessivés à alcalis
 - = Solonetz solodisés hydromorphes
 - + Famille sur alluvions argilo-sableuses à argileuses.

SOLS HYDROMORPHES

- Minéraux
 - . A hydromorphie de surface et d'ensemble, soumis à une plus ou moins forte inondation
 - = A gley et pseudo-gley, pouvant être lessivés
 - + Famille sur matériau argilo-sableux à argileux, alluviaux ou dérivés du Continental Terminal
 - = A gley
 - + Famille sur matériaux argilo-sableux à argileux, alluviaux ou dérivés du Continental Terminal.

ASSOCIATIONS ET COMPLEXES CARTOGRAPHIQUES

Dominance de solonetz solodisés hydromorphes en association avec des vertisols hydromorphes

- + Famille sur alluvions argilo-sableuses à argileuses

Complexes alluviaux, composés de sols hydromorphes à gley dominants, de sols peu évolués d'apport, hydromorphes, de vertisols hydromorphes, de solonetz solodisés hydromorphes

- + Famille sur alluvions récentes à actuelles de texture variée.

ÉTUDE MONOGRAPHIQUE DES SOLS

I - LES SOLS PEU ÉVOLUÉS

Ils ne s'observent que dans les zones d'alluvions récentes à actuelles: ce sont des sols peu évolués, d'apport, non climatiques, hydromorphes, qui sont formés par des actions d'engorgement temporaire dans des matériaux alluviaux fréquemment stratifiés.

Les phénomènes d'hydromorphie qui, avec la présence de matière organique, caractérisent leur faible évolution, n'ont pas masqué les caractères du matériau acquis notamment par le mode de transport : l'apparition des caractères d'hydromorphie est même souvent liée à la composition granulométrique et à l'ordre de superposition des différentes strates alluviales.

L'évolution de ces sols n'est pas sous la dépendance directe des facteurs climatiques régionaux, mais relève plutôt des conditions locales définissant leur régime hydrique : modelé des zones alluviales, texture des matériaux, régime hydrologique et présence de nappes temporaires.

Deux tendances évolutives, correspondant toutes deux à des actions d'engorgement, peuvent être généralement distinguées dans ces sols peu évolués :

- l'une, hydromorphe s.s., caractérisée par l'apparition de véritables horizons de gley ou de pseudo-gley, même si ceux-ci restent étroitement liés aux caractères du matériau.
- l'autre, vertisol, lorsque la nature du matériau - et notamment la nature minéralogique des argiles - favorise l'apparition de caractères vertisoliques. Ces "Intergrades" vertisol sont toujours dans ce cas du type : "à structure large en surface".

Les sols peu évolués présentent par ailleurs une faible extension et ils s'observent uniquement dans les vallées actuelles en association avec des sols hydromorphes, halomorphes et des vertisols. Ils ont été cartographiés dans des "Complexes alluviaux", qui représentent eux-mêmes au total, environ 10 % de la superficie de la carte.

En conséquence, ils seront étudiés comme des termes de passage aux classes des vertisols et des sols hydromorphes.

II . LES VERTISOLS

Ce sont (G. AUBERT - 1964) des sols à profil A, (B), C ou A, (B) g ou G, C, plus ou moins homogénéisés ou irrégulièrement différenciés par suite de mouvements internes dus à la présence d'argile gonflante et s'exprimant souvent par la formation d'un microrelief "gilgai" et d'effondrements. Leur structure est polyédrique à prismatique large, au moins en (B) ; la macroporosité est très faible et la consistance très forte dès que le sol est sec. Les vertisols sont fréquemment très argileux (30 %) et à dominance d'argile gonflante. Leur couleur est en général foncée relativement à la teneur en matière organique.

VERTISOLS HYDROMORPHES

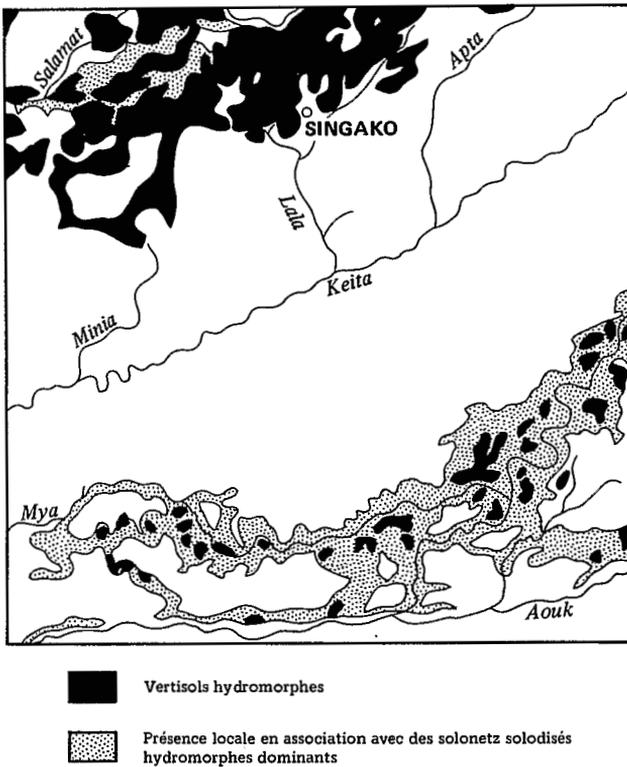


Figure 10

On distingue deux sous-classes d'après leur pédoclimat, qui peut être :

- soit très humide pendant de longues périodes : vertisols hydromorphes ou topomorphes,
- soit temporairement humide, sur pente plus ou moins prononcée : vertisols lithomorphes.

Chacune des sous-classes comporte deux groupes définis par la présence ou l'absence d'un horizon superficiel à structure fine sur au moins 20 cm (grumosoliques ou non). Des sous-groupes peuvent être distingués d'après l'intensité des caractères vertiques ou d'hydromorphie.

La classe des vertisols n'est représentée dans cette carte Singako que par des vertisols hydromorphes occupant environ 10 % de la superficie totale. Le groupe très largement dominant est celui des vertisols hydromorphes à début de structure fine en surface, ainsi défini en raison de la présence d'une structure "grumosolique" indéniable mais caractérisant un horizon superficiel d'une épaisseur toujours inférieure à 20 cm. Certains profils présentant une structure large en surface et formés sur alluvions récentes à actuelles, doivent être classés en fait avec les sols peu évolués d'apport, à caractère vertique, mais seront étudiés dans ce chapitre.

Trois catégories de vertisols peuvent donc être distinguées dans cette feuille Singako :

- DES VERTISOLS HYDROMORPHES PEU EVOLUÉS (ou sols peu évolués d'apport, vertiques)
 - . Largement structurés en surface
A gley de surface, sans carbonates :
 - Sur alluvion argileuse micacée : Profils : SI. 97 Dongo, SI. 81 Singako.
- DES VERTISOLS HYDROMORPHES
 - . A début de structure fine
Avec d'abondantes ségrégations d'hydroxydes (gley de surface)
 - . Sans nodulation calcaire et généralement sans microrelief :
 - Sur alluvion argileuse : Profils : SI. 23 Singako, SI. 93 Dongo, SI. 104 Dongo , SI. 114 Gondéy
 - . Avec nodulation calcaire et microrelief :
 - Sur alluvion argileuse : Profils : SI. 99 Dongo, SI. 109 Singako. SI. 71 Singako.

Dans des séquences lithologiques, les vertisols coexistent avec d'autres unités pédogénétiques comme les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou même les sols faiblement ferrallitiques. Sur matériau analogue ou voisin, ils présentent par contre des relations génétiques avec d'autres unités comme celles des sols hydromorphes ou des sols halomorphes lessivés, auxquels ils peuvent être étroitement associés et avec lesquels ils ont dû être parfois cartographiés.

A - Les vertisols hydromorphes, peu évolués, largement structurés en surface

Ils peuvent être considérés comme des sols peu évolués d'apport, vertiques ; ils ne s'observent que sur les alluvions récentes à actuelles des bourrelets, où ils se localisent plus particulièrement dans les dépressions. Leurs principaux caractères sont les suivants :

Morphologie

Profil : SI. 97 Dongo (15/2/1964)

- Localisé à 10,8 km N.-E. de Dongo, dans une plaine argileuse basse de l'ancien système alluvial rive gauche du Salamat. Soumis à une inondation temporaire.
- Alluvion argileuse micacée, récente.
- Savane herbeuse, cultivée en sorgho.

Surface : Forte polygonation régulière de 30 à 40 cm de côté avec fentes de retrait de 3 à 4 cm de largeur et 50 cm de profondeur. Sans microrelief ni effondrements superficiels.

0 à 25 cm : Horizon faiblement humifère, gleyifié, brun-gris foncé : 10 YR 4/2 - 3/2 en humide, avec d'assez nombreuses petites taches linéaires rouge-jaune et des marbrures diffuses gris clair ; argileux, micacé ; prismatique très grossier à débit polyédrique irrégulier ; très dur ; compact avec quelques pores et canaux ; enracinement fin assez abondant ; passage graduel et irrégulier par pénétration dans les fentes de retrait de l'horizon suivant.

25 à 60 cm : Horizon de coloration analogue mais homogène, sans taches ; argileux, micacé ; prismatique moins grossier à débit polyédrique ; très dur ; compact ; enracinement fin décroissant ; passage graduel et régulier à :

60 à 90 cm : Passage au matériau argileux brun : 10 YR 4/3 - 4/4 en humide, avec quelques taches et marbrures diffuses jaunes ; argileux, micacé ; prismatique moyen avec débit légèrement oblique ; plastique, compact ; passage tranché et régulier à :

90 à 110 cm : Autre matériau légèrement moins argileux, brun olive : 2,5 Y 4/4 analogue en humide, avec quelques taches diffuses rares, structure en plaquettes obliques peu développée ; plastique ; compact.

Profil non calcaire.

Les principales caractéristiques morphologiques sont :

- La présence d'un gley de surface ; mais l'horizon supérieur est mal différencié (limite inférieure graduelle).
- Une coloration foncée, assez homogène avec une teinte grise dominante en surface.
- Une variation très caractéristique de la structure : la structure prismatique très grossière et peu développée en surface diminue de taille avec la profondeur ; la sous-structure, cubique à polyédrique grossière en surface, présente en profondeur des plaquettes obliques. On n'observe

pas de remplissages d'agrégats fins dans les fentes de retraits mais seulement des débris organiques qui pénètrent ainsi profondément dans le profil.

- L'absence de phénomènes de carbonatation en profondeur.
- L'absence de microrelief gilgai.

Caractéristiques analytiques

Les textures sont très argileuses (50 %), avec des teneurs en limon total pouvant dépasser 25 %. Dans les fractions sableuses et limoneuses grossières, on note la présence de nombreuses paillettes de micas, caractérisant ces alluvions récentes et d'origine lointaine (quartzites micacés et granites des massifs du Guéra et du Ouaddaï).

Les taux de matières organiques sont variables (1,1 à 2,4 %) avec un C/N de l'ordre de 13. La diminution des teneurs en matières organiques avec la profondeur est très progressive : dans le Profil : SI.97 Dongo, on note à 1 mètre de profondeur une teneur de 50 % inférieure à celle de surface. Ce fait semble être en relation avec la pénétration de débris organiques dans les fentes de retrait et avec l'homogénéisation du profil par des mouvements mécaniques dus aux gonflements des argiles.

La capacité d'échange est de 20 à 30 mé. %. Le complexe absorbant n'est saturé qu'à 75 - 80 %. Les pH sont supérieurs à 6 en surface et augmentent faiblement mais progressivement avec la profondeur, sans dépasser la neutralité. Le calcium domine dans le complexe absorbant mais le magnésium est également abondant (Ca/Mg fréquemment de l'ordre de 1,5). Les teneurs en sodium augmentent avec la profondeur dans la proportion de 1 à 2 : il y a début d'alcalisation (Na/Ca de 6,5 à 9 %) avec action défavorable sur la structure (Is élevé) et la perméabilité (qui s'annule), mais sans que le pH ne devienne alcalin.

Le fer est uniformément peu mobile dans l'ensemble du profil.

Les réserves en acide phosphorique sont moyennes à bonnes et les teneurs en potasse échangeable sont généralement très bonnes.

Extension. Cartographie. Utilisation

Les superficies occupées par ces vertisols peu évolués sont très faibles : de l'ordre de quelques % de la superficie totale de la carte, et elles sont irrégulièrement distribuées. Correspondant strictement à un type de matériau de la formation alluviale récente des bourrelets, ces sols sont localisés soit le long des bourrelets actuels (Salamat) soit dans des systèmes alluviaux récents mais qui ne sont plus fonctionnels (rive gauche Salamat, bassin de la Mya). Ils occupent d'anciens méandres ou des dépressions à l'amont des bourrelets, et sont généralement l'objet d'un apport argileux saisonnier par décantation des eaux de débordement fluvial. Ils sont associés à des sols halomorphes lessivés localisés sur les bourrelets à la limite de l'inondation, zone où se réalise préférentiellement l'accumulation de sels ou de cations dispersants.

Quand ces vertisols n'ont pu être représentés séparément sur la carte en raison des surfaces restreintes qu'ils occupent, ils ont été cartographiés en association avec les sols halomorphes lessivés qui sont dominants.

Ce type de vertisol est le plus utilisé pour les cultures de décrue (sorgho) en raison principalement de son régime hydrique souvent plus favorable (décrue plus précoce), que celui des vertisols des plaines basses. Comme l'indiquent les relations existantes entre les teneurs en azote total/acide phosphorique total/pH (B. DABIN - 1961), la richesse chimique de ces sols doit être considérée comme bonne. Mais au point de vue physique, leur structure très grossière, leur consistance et leur imperméabilité représentent des facteurs défavorables qui peuvent être également liés à leur tendance à l'alcalisation en profondeur.

B - Les vertisols hydromorphes à début de structure fine en surface

Ce type de vertisol est le plus largement représenté dans cette région. Sa caractéristique générale est la présence constante de traces de gleyification dans l'horizon supérieur à structure fine : ces sols sont en effet soumis temporairement à une inondation par débordement fluvial faisant suite à leur saturation plus ou moins totale par les pluies. Ils sont principalement localisés dans la partie nord ouest de la feuille, entre le cours du Salamat et l'alignement des Koros ; les profils sont différenciés, à partir d'alluvions argileuses anciennes du Salamat.

Ces vertisols peuvent être subdivisés en deux catégories suivant la présence ou non de phénomènes de nodulation calcaire en profondeur.

1 - SANS NODULATION CALCAIRE EN PROFONDEUR

Profils : SI. 23 Singako, SI. 93 Dongo, SI. 104 Dongo, SI. 114 Gondey.

Morphologie

Profil : SI. 23 Singako (6/2/1964).

- Localisé à 3,5 km S. du Bahr Salamat (piste Singako - Lac Iro), dans la vaste plaine alluviale de Ganatir.
- Alluvion argileuse ancienne du Bahr Salamat.
- Savane herbeuse à Andropogonées avec quelques rares *Bauhinia reticulata*.

Surface : Nette polygonation superficielle de 30 cm de côté environ. Surface plane avec une légère ondulation. Présence de quelques effondrements. Touffes de graminées sur touradons.

0 à 8 cm : Horizon bien humifère, gleyifié, à début de structure fine, gris foncé : 10 YR 4/1 - 3/2 en humide avec nombreuses petites taches linéaires rouge-jaune dans les pores racinaires ; argileux, structure variable de type et de taille

allant de cubique moyen à polyédrique éoussée fine, bien développée à unités séparées ; dur ; faiblement poreux mais nombreux canaux ; enracinement fin abondant ; non calcaire ; passage distinct et régulier à :

- 8 à 65 cm : Horizon brun-gris foncé : 2,5 Y 4/2 - 3/2 en humide avec assez nombreuses ségrégations moyennes diffuses jaune-rouge et des concrétions ferrugineuses arrondies, cimentées, de 2 à 6 mm de diamètre ; argileux ; prismatique grossier fortement développé avec sous-structure cubique à la partie supérieure puis en plaquettes obliques à la base ; dur ; faiblement poreux à compact ; enracinement régulièrement décroissant ; passage graduel et régulier à :
- 65 à 130 cm : Horizon brun-gris foncé : 2,5 Y 4/2 - 3/2 en humide avec des ségrégations moins nombreuses et plus diffuses ; quelques concrétions ; argileux ; structure en plaquettes obliques moyennement développée avec surstructure prismatique grossière ; dur ; compact ; fin de l'enracinement.
- Profil non calcaire.

Morphologiquement ces profils sont caractérisés par :

- Une coloration homogène assez foncée avec une faible variation verticale de gris à gris foncé (10 YR 5 ou 4/1) en surface à brun-gris foncé (légèrement olive : 2,5 Y 4/2) en profondeur.
- Une même séquence structurale, caractéristique des vertisols : en surface, sur une épaisseur toujours inférieure à 20 cm (5 à 15 cm), coexistence de type et de taille de structure différents : cubique moyen à polyédrique fin éoussé, bien développés à unités séparées et avec ou sans surstructure prismatique moyenne à grossière. La structure est ensuite prismatique grossière, à sous-structure cubique puis en plaquettes obliques. A la base du profil : structure en plaquettes obliques avec surstructure prismatique.
- Des phénomènes de gleyification en surface. Les ségrégations peuvent envahir la totalité du profil et être accompagnées d'un léger concrétionnement.
- La présence d'effondrements en surface, mais le microrelief "gilgai" est généralement absent.

Les deux premiers caractères définissent les vertisols, mais la présence constante du troisième indiquerait un passage aux sols hydromorphes, comme le préciseront certaines données analytiques.

Caractéristiques analytiques

Les textures sont argileuses, avec en moyenne 60 % d'argile et des taux généralement plus élevés en profondeur, la proportion de limon est comprise entre 15 et 25 % et les sables fins sont plus abondants que les sables grossiers (excepté SL.93 Dongo).

Les teneurs en matière organique sont variables, comprises entre 1 et 3 % avec des C/N de l'ordre de 12. La décroissance avec la profondeur est moins progressive que dans les vertisols à structure large du fait du moindre développement du réseau de fentes par lesquelles peuvent pénétrer les débris organiques.

Les capacités d'échange sont comprises entre 20 et 30 mé. %. La saturation du complexe apparaît très variable dans chaque profil et entre les différents profils : elle se situe entre 50 et 100 % mais on observe constamment une plus faible saturation en surface, à laquelle correspondent des pH acides compris entre 5,0 et 6,0. Cette acidification généralement localisée à l'horizon supérieur à structure fine peut parfois se poursuivre en profondeur (pH de 5,0 à 120 cm dans SI.114 Gondey), mais le plus souvent le pH devient neutre à alcalin en-dessous d'un mètre, en relation avec la présence de traces de carbonates ou de plus fortes teneurs en sodium échangeable (SI.93 Dongo). Les cations échangeables sont essentiellement représentés par Ca et Mg avec un rapport Ca/Mg voisin de 3. Seul le profil SI.93 Dongo accuse une accumulation de sodium échangeable en profondeur ($\text{Na/Ca} = 11 \%$).

Le fer est peu mobile dans l'ensemble du profil.

Les réserves en acide phosphorique sont médiocres, mais les teneurs en potasse échangeable doivent être considérées comme moyennes à bonnes.

L'horizon supérieur à structure fine a une stabilité structurale et une perméabilité satisfaisante, mais ces deux caractéristiques deviennent mauvaises en profondeur, notamment avec la présence de plus fortes teneurs en sodium.

2 - AVEC NODULATION CALCAIRE EN PROFONDEUR

Profils : SI.71 Singako, SI.99 Dongo, SI.109 Singako.

Morphologie

Profil : SI.71 Singako (14/2/1964).

- Localisé à 17,2 km N.-E. de Singako, à la bordure S.-E. de la plaine de Ganatir.
- Alluvion argilo-sableuse.
- Savane herbeuse à Andropogonées avec quelques rares *Gardenia* et *Bauhinia reticulata*.

Surface : Léger microrelief "gilgaf" avec dénivellée de 20 à 30 cm et longueur d'onde de 5 à 8 m. Sur les buttes, polygona-tion avec fentes de retrait, présence de nodules calcaires et d'efflorescences blanches de carbonates ; effondrements fréquents irrégulièrement répartis dans les dépressions et les sommets. Touffes de graminées sur touradons.

- 0 à 7 cm : Horizon humifère gleyifié, gris : 10 YR 5/1 - 3/1 en humide, avec assez nombreuses petites taches linéaires, distinctes, rouge-jaune, plus abondantes en position de dépression ; argilo-sableux ; structure cubique moyenne, moyennement développée et passant localement à polyédrique sous les touradons ; dur ; compact avec quelques pores et canaux ; enracinement fin horizontal abondant ; non calcaire ; passage tranché et localement irrégulier à :
- 7 à 20 cm : Horizon brun : 10 YR 5/3 - 5/4 en humide, avec des taches linéaires et d'assez nombreuses taches moyennes, diffuses, rouge-jaune : 5 YR 5/8 ; présence de petites concrétions ferrugineuses brunes à intérieur noir ; argilo-sableux ; structure prismatique moyenne fortement développée à débit cubique ; très dur ; compact ; pénétration verticale des racines dans les fentes de retrait ; non calcaire ; passage distinct et plus ou moins régulier à :
- 20 à 60 cm : Horizon brun-jaune : 10 YR 5/4 - 4,5/4 en humide, avec quelques taches diffuses jaune-rouge, des concrétions ferrugineuses et quelques nodules calcaires de 0,5 à 1,5 cm de diamètre ; argilo-sableux ; structure prismatique grossière moyennement développée à sous-structure en plaquettes obliques ; très dur à extrêmement dur ; compact ; non calcaire dans la masse ; enracinement faible ; passage graduel et régulier à :
- 60 à 120 cm : Passage au matériau argilo-sableux, brun-olive 2,5 Y 4/4 (humide), avec assez nombreuses taches moyennes diffuses, grises et jaunes ; concrétions ferrugineuses plus nombreuses ; nodules calcaires plus abondants et plus gros, fortement cimentés, blancs en surface avec des taches jaunes diffuses, à cassure grise avec des cavités tapissées de fines cristallisations ; argilo-sableux ; structure bien développée en plaquettes obliques à faces patinées striées et en assemblage prismatique ; très dur ; compact ; non calcaire dans la masse.

Comparativement aux vertisols sans nodulation calcaire, les principaux caractères morphologiques distinctifs de ces profils sont les suivants :

- La coloration est légèrement moins foncée dans l'ensemble. En surface dominant les gris et brun-gris (10 YR 5/1 à 5/2) mais en profondeur les horizons sont brun-jaune (10 YR 5/3 à 5/4) ou brun-olive (2,5 Y 4/2 à 5/4).
- L'immobilisation du fer et du manganèse sous forme de petites concrétions est constante.
- La nodulation calcaire est généralement localisée dans les horizons profonds colmatés, mais les nodules calcaires peuvent être irrégulièrement répartis dans l'ensemble du profil : sous les effets mécaniques

provoqués par le gonflement et le retrait des argiles, ils peuvent même être ramenés en surface avec des concrétions ferrugineuses (Profil : SI.109 Singako). Ces nodules, qui sont plus nombreux à la surface des dômes du microrelief, présentent alors des patines jaunes et un aspect superficiel rugueux et irrégulier dû à des phénomènes de dissolution des carbonates.

- La présence constante d'un microrelief de type "gilgai" avec des effondrements.

Caractéristiques analytiques

Les textures sont moins argileuses que celles des vertisols sans nodulation calcaire : les teneurs en argile se situent entre 35 et 50 % et les teneurs en limon sont également légèrement plus basses. Les sables grossiers sont plus souvent supérieurs aux sables fins, ce qui peut traduire une certaine parenté de ces alluvions avec des matériaux dérivés du Continental Terminal.

Les teneurs en matière organique sont également variables mais comprises entre 2 et 3 % avec un C/N plus élevé de l'ordre de 14.

Si les capacités d'échanges sont analogues (20 à 30 mé. %), la saturation du complexe apparaît particulièrement variable. Les horizons profonds à carbonatation sont évidemment toujours saturés avec des pH atteignant 8,1, mais les horizons de surface présentent soit une saturation totale (avec un pH superficiel de 7,4 pour SI.109 Singako), soit plus généralement une nette désaturation et acidification : (pH superficiel de 5,4 pour SI.99 Dongo). L'augmentation constante des teneurs en sodium échangeable en profondeur, indique une tendance à l'alcalisation pour certains profils (Na/Ca = 10 % : SI.109 Singako), qui sont précisément étroitement associés à des sols halomorphes lessivés voisins.

Les autres caractéristiques analytiques sont très voisines de celles des vertisols sans nodulation calcaire.

3 - EXTENSION. CARTOGRAPHIE. UTILISATION

Les deux types de vertisols hydromorphes à début de structure fine, avec ou sans nodulation calcaire, ont été cartographiés en une seule unité dont l'extension se localise dans la partie nord-ouest de la feuille, entre le cours du Salamat et l'alignement des Koros. Cette unité cartographique représente 10 % de la superficie totale de la carte.

Les vertisols sans nodulation calcaire dominent très largement et occupent généralement les parties les plus basses des plaines recouvertes de savane herbeuse (Plaine de Ganatir). Les vertisols à nodulation calcaire sont localisés en position légèrement plus haute, sur la bordure de ces plaines ou sur de légers bourrelets, qui sont le siège d'une accumulation préférentielle de carbonates et même de sodium : ils assurent alors le passage aux sols halomorphes lessivés avec lesquels ils présentent des relations génétiques qui seront étudiées plus loin.

Les vertisols hydromorphes à début de structure fine ne sont pratiquement pas exploités, hormis une faible utilisation pastorale saisonnière. C'est principalement leur régime hydrique, lui-même sous la dépendance du régime hydrologique régional, qui limite leur utilisation : leur assèchement est en effet trop tardif et leur microrelief prononcé est un facteur d'hétérogénéité très défavorable. Si leur structure superficielle, fine et stable, est une caractéristique intéressante, ils présentent par ailleurs d'autres caractéristiques défavorables comme leur imperméabilité, leur tendance à l'alcalisation et un potentiel chimique moins élevé que celui des vertisols peu évolués à structure large. La vocation éventuelle de ces sols serait la riziculture sous réserve de diverses interventions dont le planage et le contrôle des eaux représenteraient des préalables indispensables.

C - Conclusions pédogénétiques sur les vertisols hydromorphes

Au point de vue pédogénétique, ces vertisols présentent un caractère particulier qui les distingue généralement des autres vertisols de la zone sahélo-soudanienne : il s'agit de la glyification de leur horizon superficiel qu'il soit à structure fine ou à structure large. A cette glyification créée par la submersion temporaire, s'ajoutent ou se relie d'autres caractères résultant spécifiquement des processus d'hydromorphie, comme :

- L'accumulation de matières organiques à la partie supérieure du profil : (jusqu'à 3 % à C/N de 14). Ainsi se différencie un horizon bien humifère (glyifié), pouvant être nettement délimité sur 10 à 15 cm. Cette différenciation d'horizon ne correspond pas à la morphologie normale d'un vertisol où prévaut plutôt une homogénéisation générale du profil, qui n'a été reconnue que dans les vertisols peu évolués à structure large.
- La structure fine de certains horizons de surface ne résulte pas seulement de phénomènes de fragmentation mécanique ("self mulching") qui apparaissent déterminants dans la formation de l'horizon "grumosolique" d'un vertisol. On observe en effet que les agrégats fins (qui sont riches en matières organiques) peuvent être bien arrondis - tendance grumeleuse - et présenter une porosité tubulaire assez développée résultant d'actions biologiques ou de la pénétration racinaire. On note également dans certains horizons supérieurs, un développement irrégulier de cette structure fine qui n'apparaît que sous les touffes d'Andropogonées et peut demeurer massive ou polyédrique faiblement développé dans les autres parties de l'horizon moins explorées par le chevelu graminéen (SI. 99 Dongo).
- L'acidification superficielle, enfin, caractérise d'autant plus la majorité des profils que les pH sont le plus souvent neutres ou alcalins en profondeur.

Ces caractères relevant spécifiquement de processus d'hydromorphie, conduisent à envisager des liens entre des vertisols et les sols hydromorphes. L'apparition de ces caractères d'hydromorphie étant liée

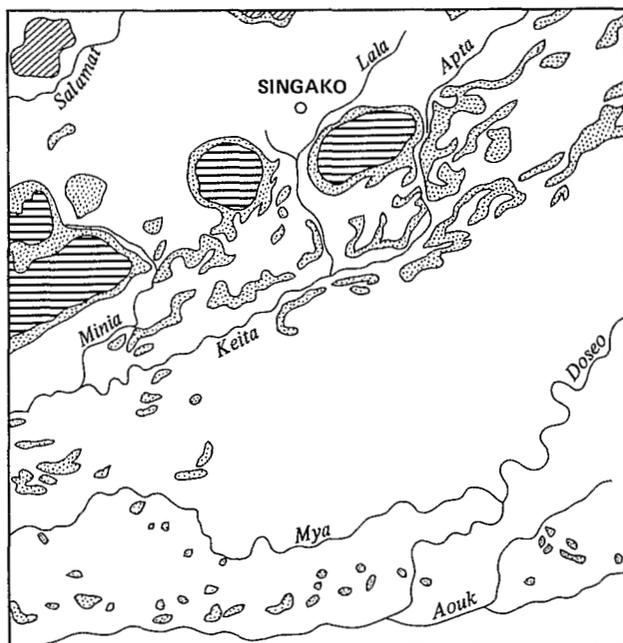
à un régime hydrologique particulier, on peut admettre que c'est un ensemble de conditions purement régionales, à l'échelle de la cuvette tchadienne, qui est à l'origine de ce "faciès" particulier de vertisols. Il n'en demeure pas moins que zonalement ce "faciès" se situerait vers la limite méridionale d'extension des vertisols, où ces derniers sont précisément relayés par les sols hydromorphes.

Une autre tendance évolutive des vertisols, qui se manifeste par le début de leur alcalisation en profondeur, sera étudiée dans le chapitre concernant les sols halomorphes lessivés.

III - LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

Les sols ferrugineux tropicaux ou fersiallitiques sont des sols à sesquioxydes fortement individualisés et à humus de décomposition rapide. Ils sont divisés en deux groupes : peu lessivé et lessivé, suivant l'intensité des migrations de l'argile et des sesquioxydes dans les profils.

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX SOLS FERRALLITIQUES



-  Sols faiblement ferrallitiques
-  Sols ferr. tropicaux lessivés sur cuirasse
-  Sols ferr. tropicaux lessivés

Figure 11

Seul le groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés est représenté dans la feuille Singako où il occupe environ 10 % de la superficie totale. Trois sous-groupes ont été reconnus : ceux des sols ferrugineux tropicaux lessivés :

- sans concrétions (à taches),
- à concrétions,
- à pseudo-gley.

Les matériaux originels à partir desquels se sont différenciés ces sols, sont de trois types et correspondent à la définition des trois "familles" de sols suivantes :

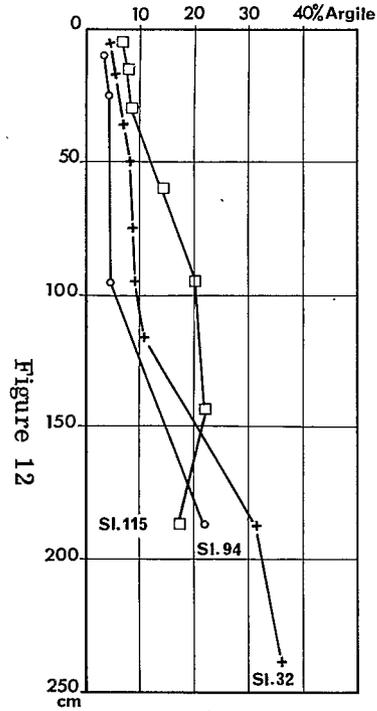
- sur matériau sablo-argileux à argilo-sableux dérivé du Continental Terminal,
- sur alluvions sablo-argileuses, micacées,
- sur matériaux divers reposant sur une ancienne cuirasse ferrugineuse, formée sur graviers quartzeux.

Sur un même matériau, les trois sous-groupes peuvent être associés dans une toposéquence de faible longueur (1 à 2 km), allant par exemple des sols faiblement ferrallitiques des Koros aux sols hydromorphes des plaines inondées. Ces sous-groupes n'ont donc pas pu être cartographiés séparément à l'échelle de la carte et seules deux familles ont été distinguées afin d'individualiser les sols généralement peu épais sur ancienne cuirasse ferrugineuse.

Par ailleurs, il s'avère intéressant de caractériser les trois sous-groupes de sols ferrugineux tropicaux lessivés par la manière dont se réalise l'accumulation de l'argile et des sesquioxydes à la base des profils. Il est en effet possible de distinguer (cf. Fig. 12) :

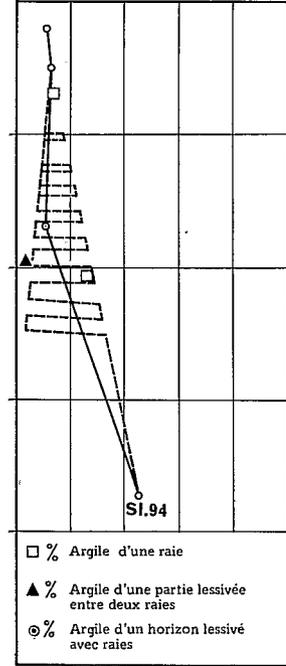
- une accumulation continue (diffuse), qui peut être elle-même :
 - soit progressive à partir des horizons lessivés ; les horizons d'accumulation sont alors généralement colorés : sol "ocre" à taches : SI. 14 Yanga,
 - soit tranchée et en rapport avec des actions d'engorgement profond ; la coloration des horizons d'accumulation varie du brun au gris : SI. 9 Koutou Géré, SI. 105 Dongo,
 - soit tranchée et en rapport avec des actions d'érosion superficielle, sur les horizons lessivés ; les horizons d'accumulation présentent dans ce cas des colorations vives : sols sur cuirasse ancienne : SI. 122 Malé, SI. 79 Singako.
- une accumulation discontinue qui se réalise sous forme de "raies" dans les horizons lessivés eux-mêmes. Malgré son caractère discontinu dans les horizons lessivés, cette accumulation est progressive et se poursuit - avec élargissement, augmentation en nombre et fusion des raies - par des horizons d'accumulation diffuse. Deux types de profil à "raies" peuvent être distingués suivant que l'intensité du lessivage augmente ou non vers la base des horizons lessivés, qui sont épais dans les deux cas : SI. 115 Gondey, SI. 32 Yanga, SI. 94 Dongo.

LE LESSIVAGE ET LES TYPES D'ACCUMULATION ARGILEUSE
DANS LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS

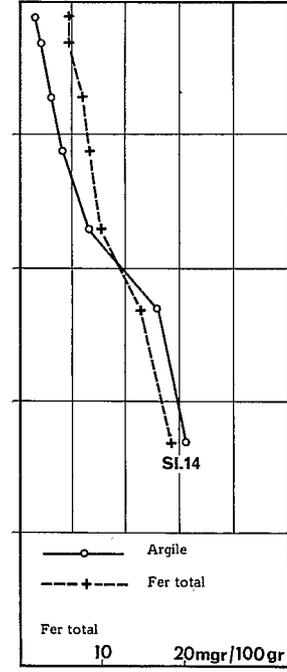


Sols à "raies"
Accumulation en raies puis diffuse

ACCUMULATION DISCONTINUE PROGRESSIVE



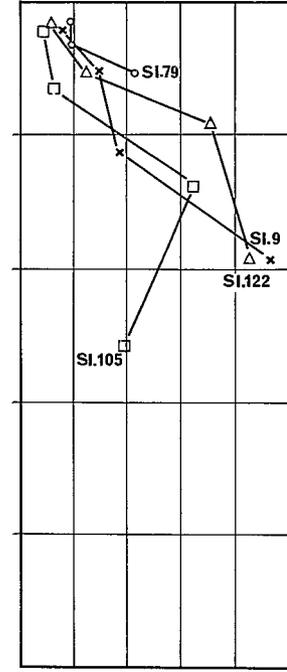
Représentation schématique



Sols "ocres"

PROGRESSIVE

ACCUMULATION CONTINUE (DIFFUSE)



Sols à pseudogley
Sols érodés sur cuirasse

TRANCHEE

Les trois sous-groupes de sols ferrugineux tropicaux lessivés : sans concrétions (à taches) - à concrétions - à pseudo-gley, pouvant être étroitement associés et liés génétiquement dans une toposéquence, leur étude est présentée dans un ordre correspondant à celui de la diminution de leur drainage interne (les sols sur cuirasse ancienne étant examinés séparément). Les principaux types de profils étudiés sont les suivants (cf. Fig. 13) :

A - SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS, A TACHES, A ACCUMULATION DIFFUSE, PROGRESSIVE, COLORÉE :

- sur matériau argilo-sableux dérivé du Continental Terminal : sol "ocre". Profil : SI.14 Yanga.

B - SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS, A TACHES OU A TACHES ET CONCRÉTIONS, A ACCUMULATION DISCONTINUE DANS LES HORIZONS LESSIVÉS : SOLS "A RAIES" :

- sur matériau sablo-argileux dérivé du Continental Terminal. Profil: SI.32 Yanga.

- sur alluvion sablo-argileuse, micacée. Profils : SI.115 Gondey (tronqué par érosion), SI.94 Dongo (fortement lessivé).

C - SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS, A PSEUDO-GLEY, A ACCUMULATION DIFFUSE TRANCHÉE :

. Sans concrétionnement

- sur matériau argilo-sableux dérivé du Continental Terminal. Profil: SI.9 Koutou Géré.

. Avec concrétionnement et nodulation calcaire

- sur alluvion sablo-argileuse micacée. Profil : SI.105 Dongo.

D - SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS, A TACHES, GÉNÉRALEMENT ERODÉS, A ACCUMULATION DIFFUSE TRANCHÉE :

- sur ancienne cuirasse ferrugineuse. Profils : SI.122 Malé (Profil épais), SI.79 Singako (Profil peu épais), SI.123 Malé (Passage aux sols hydromorphes).

A - Les sols ferrugineux tropicaux lessivés, à taches, à accumulation diffuse progressive, colorée

Ils assurent le passage entre les sols rouges faiblement ferrallitiques des Koros et les autres sols ferrugineux tropicaux lessivés à drainage interne plus déficients : ces sols, dénommés "ocre" ou "ocre rouge" (G. BOUTEYRE - 1963), forment ainsi une auréole de faible largeur ceinturant les sols rouges des Koros. Ils sont toujours situés topographiquement plus bas que ces derniers.

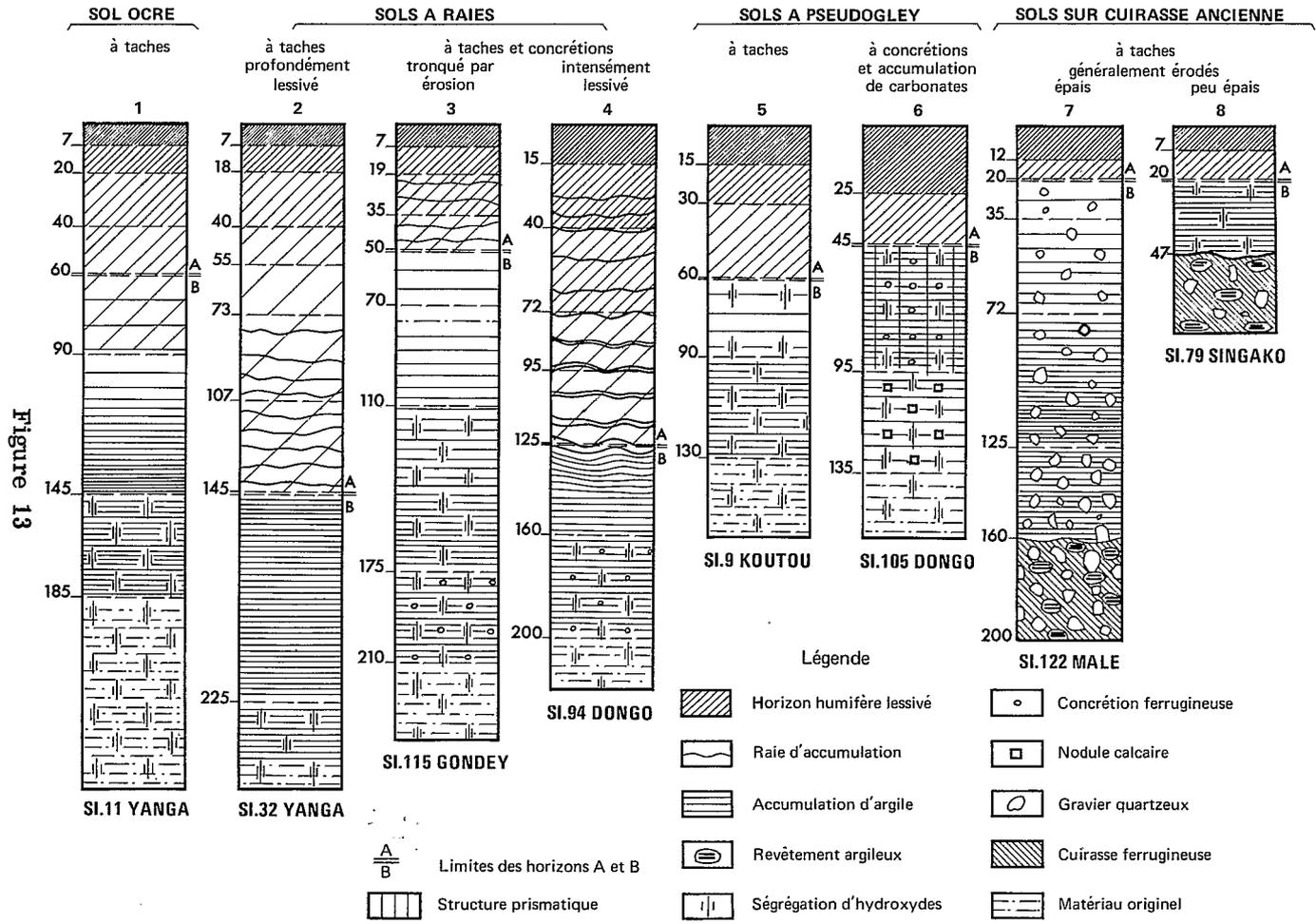


Figure 13

Ce sont des sols profonds (150 à 200 cm) différenciés exclusivement sur matériau argilo-sableux dérivé du Continental Terminal. De texture légère en surface, ces sols - occupés par une savane arborée dense - sont généralement défrichés et portent des cultures sèches, notamment celles du mil *Sorghum* et du cotonnier. Leur caractérisation est la suivante :

Morphologie

Profil : SI. 14 Yanga (12/2/1964)

- Localisé à 2,3 km W. de Mayo, sur le versant S.-W. du Koro de Balé, à 250 m environ en amont et à 4 m de dénivelée de la limite d'inondation.
- Matériau argilo-sableux dérivé du Continental Terminal.
- Défriche de savane arborée cultivée à plat en mil ou coton.

- Surface : Plane avec quelques grandes termitières coniques brun clair. Présence de sables déliés en surface sur 1 à 3 mm d'épaisseur.
- 0 à 7 cm : Horizon cultivé légèrement humifère, lessivé, gris foncé : 10 YR 4,5/1 - 3,2 en humide, de coloration homogène ; sableux très faiblement limoneux ; massif à débit irrégulier à faces planes ; peu dur ; faiblement poreux ; maximum de racines fines ; passage distinct et régulier à :
- 7 à 20 cm : Horizon légèrement humifère, lessivé, brun-gris : 10 YR 5/2 - 3/2 en humide, homogène ; sableux ; massif à débit un peu plus régulier et faces légèrement mamelonnées ; peu dur ; assez poreux ; enracinement fin abondant ; passage graduel et régulier à :
- 20 à 40 cm : Horizon encore humifère, lessivé, brun : 8,25 YR 5/3 - 4/3 en humide ; analogue avec augmentation de la porosité fine et du nombre de pores de différentes tailles ; passage graduel et régulier à :
- 40 à 60 cm : Horizon de transition, lessivé et encore humifère, brun clair : 7,5 YR 6/4 - 4/4 en humide, avec quelques remplissages plus bruns provenant des horizons supérieurs ; sableux ; analogue ; passage graduel et régulier à :
- 60 à 90 cm : Horizon de transition de début d'accumulation d'argile, brun clair à brun rouge clair : 7,5 YR 6/4 - 5 YR 6/4 ; homogène ; sableux légèrement argileux ; massif à tendance polyédrique moyenne ; dur ; poreux ; présence de grosses racines ; passage graduel et régulier à :
- 90 à 145 cm : Horizon d'accumulation d'argile et d'hydroxydes, jaune rouge : 5 YR 6/6 - 5/6 en humide, homogène ; sablo-argileux ; structure polyédrique moyenne, faiblement développée en assemblage massif ; dur ; assez poreux ; diminution de l'enracinement ; passage graduel et régulier à :

145 à 185 cm : Horizon d'accumulation d'argile et d'hydroxydes, avec des traces d'engorgement ; jaune-rouge à rouge clair : 3,75 YR 6/6 - 5 YR 5/6 en humide, avec assez nombreuses taches rouges et blanc rose, moyennes, distinctes ; argilo-sableux ; structure polyédrique moyenne faiblement développée ; légèrement moins dur et moins poreux.

185 cm... Passage graduel au matériau argilo-sableux, plus intensément taché, compact et non structuré.

Profil non calcaire.

Les horizons lessivés, peu structurés mais à porosité augmentant avec la profondeur s'étendent jusqu'à 60 cm de profondeur. On peut distinguer en fait un horizon de transition de part et d'autre de cette limite, soulignant le passage progressif des horizons lessivés à ceux d'accumulation. Ceux-ci sont fortement colorés et épais, de 60 à 185 cm, ce qui pourrait laisser supposer un raccourcissement du profil par érosion des horizons supérieurs. La base de l'accumulation présente des traces d'engorgement qui augmentent dans le matériau, mais sans concrétionnement.

Caractéristiques analytiques

Elles soulignent essentiellement le lessivage de ces profils :

Les horizons superficiels sont très sableux (moins de 5 % d'argile sur 20 cm) ; l'augmentation des taux d'argile est progressive et faible jusqu'à 90 cm dans les horizons lessivés et de transition, puis plus importante de 90 à 130 cm pour se stabiliser à un taux de 30 % à partir de 150 cm (cf. planche 10). Le fer présente les mêmes variations et le rapport fer libre/fer total indique une plus grande mobilité de cet élément dans les horizons lessivés. D'après les variations de ces deux éléments (fer et argile) le lessivage est intense et la limite inférieure maxima des horizons lessivés se situerait vers 90 cm.

Les taux de matière organique sont peu élevés en surface (horizon cultivé), de l'ordre de 0,8 %, et ils décroissent assez progressivement jusqu'à 60 cm pour présenter ensuite une légère augmentation vers 90 cm. Le C/N est élevé en surface.

Jusqu'à 90 cm, les bases échangeables varient parallèlement à la matière organique mais augmentent ensuite jusqu'au matériau originel. Le degré de saturation, peu élevé en surface (60 %), atteint des valeurs très basses à la base des horizons lessivés et au sommet de l'horizon d'accumulation (< 30 %) pour remonter à 50 % au passage du matériau. Le pH suit une variation analogue mais demeure nettement acide (5,1) à la base du profil.

Les réserves en P_2O_5 sont faibles mais elles ne présenteraient pas de déséquilibre grave d'après leur rapport aux teneurs en azote. Par contre les teneurs en potasse échangeable sont mauvaises en surface et médiocres en profondeur.

Conclusion

Au point de vue pédogénétique, cette variété de sols ferrugineux tropicaux lessivés se caractérise par un intense lessivage, une accumulation progressive, diffuse, vivement colorée, et par des actions peu intenses d'engorgement en profondeur. Les horizons supérieurs sont affectés par la mise en culture et par des actions d'érosion superficielle.

B - Les sols ferrugineux tropicaux lessivés, à taches ou à taches et concrétions, à accumulation discontinue dans les horizons lessivés: sols à "raies"

Ces sols se situent en position légèrement plus basse que les précédents ; ils sont différenciés :

soit sur matériau argilo-sableux dérivé du Continental Terminal.
Profil : SI. 32 Yanga,

soit sur alluvion sablo-argileuse (généralement micacée). Profils :
SI. 115 Gondey, SI. 94 Dongo.

Ils ont été observés plus fréquemment sur des alluvions formant des buttes ou des levées exondées que sur la bordure des Koros où ils se localisent alors entre les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et les sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley.

Morphologiquement, ils sont caractérisés par une accumulation discontinue (en raies) se réalisant au sein des horizons lessivés et se poursuivant par une accumulation diffuse en profondeur (cf. Fig. 12 et 13). La base du profil présente toujours des traces d'engorgement temporaire soit sous forme de taches : SI. 32 Yanga, soit sous forme de taches et de concrétions : SI. 115 Gondey, SI. 94 Dongo. Le concrétionnement se localise dans ce cas en-dessous d'1,50 m de profondeur et sa formation dépendrait plus d'un engorgement dû à une nappe temporaire qu'au seul colmatage des horizons d'accumulation. L'examen des matériaux originels à plus de deux mètres de profondeur a en effet toujours montré que ces traces d'engorgement se poursuivaient profondément soit dans le même matériau, soit - pour des matériaux alluviaux - dans un autre niveau alluvial généralement plus argileux : ce dernier cas correspondant à la superposition fréquemment observée de la série alluviale sableuse récente sur une série argileuse ancienne.

Par diminution du drainage interne, on note un passage continu entre ces sols à "raies" tachés, et les sols à pseudo-gley où l'accumulation en raies est généralement absente.

Deux types de sols à "raies" peuvent être distingués suivant l'intensité du lessivage et notamment la morphologie des horizons A₂ et B₁. Un critère simple : la présence ou non d'une coloration vive dans ces horizons, pourrait être provisoirement utilisé.

1 - LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS, A RAIES, A HORIZONS PROFONDS COLORÉS

Morphologie

Profil : SI. 32 Yanga (14/2/1964)

- Localisé à 2, 3 km W. d'Alakao, sur un versant régulier à faible pente : 1 %.
- Matériau sablo-argileux dérivé du Continental Terminal.
- Savane arborée claire, en jachère à : *Butyrospermum parkii*, *Parkia biglobosa*, *Khaya senegalensis*, *Bauhinia thonningii*, *Hymenocardia acida*; strate herbacée à *Eragrostis* et *Pennisetum* avec des touffes d'Andropogonées.

- Surface : 2 à 3 mm de sables quartzeux, déliés, de taille diverse ; surface plane avec quelques petites termitières en dômes.
- 0 à 7 cm : Horizon cultivé, légèrement humifère et lessivé, gris 10 YR 5/1 - 3,5/1 en humide ; sableux avec présence de limon ; sables quartzeux, grossiers dominants, anguleux émoussés ; fondu à débit irrégulier à faces planes ; peu dur ; porosité faible uniquement de type tubulaire avec assez nombreux canaux ; passage tranché et régulier à :
- 7 à 18 cm : Horizon légèrement humifère et lessivé, analogue mais légère tendance polyédrique, un peu moins dur et plus poreux avec apparition d'une porosité fine ; l'enracinement est maximum dans ces deux horizons, avec quelques grosses racines horizontales et un chevelu vertical assez abondant ; passage distinct et régulier à :
- 18 à 40 cm : Horizon légèrement humifère et lessivé, gris-rose : 7,5 YR 6/2 - 4,5/2 en humide ; sableux ; fondu à débit régulier, à faces mamelonnées (légère tendance polyédrique) ; peu dur avec de petits noyaux plus consistants ; porosité bien développée avec assez nombreux canaux présents jusqu'à 40 cm ; bon enracinement avec radicules et quelques racines lignifiées ; passage distinct et régulier à :
- 40 à 55 cm : Horizon lessivé encore légèrement humifère, brun-rouge clair : 5 YR 6/3 - 4,5/3,5 en humide, avec quelques remplissages gris ; sableux très légèrement argileux et plus riche en sables grossiers ; fondu à débit régulier à angles vifs ; peu dur avec des noyaux durs ; diminution légère de porosité ; diminution de l'enracinement ; passage tranché et régulier à :
- 55 à 73 cm : Horizon de transition, lessivé, plus coloré : brun-rouge clair : 5 YR 6/4 - 5/4 en humide avec encore des remplissages ; texture analogue ; fondu à débit plus irrégulier ; peu dur avec moins de noyaux durs ; assez poreux ; enracinement réduit ; passage distinct et régulier à :

- 73 à 107 cm : Horizon de transition le plus coloré : rouge clair : 2,5 YR 6/5 - 3,75 YR 5/5 en humide, avec début d'accumulation en raies peu distinctes, plus rouges de 4 à 6 mm d'épaisseur ; sablo - faiblement argileux riche en sables grossiers colorés : massif à débit irrégulier ; peu dur ; assez poreux avec diminution de la porosité tubulaire ; enracinement faible ; passage tranché et régulier à :
- 107 à 145 cm : Horizon d'accumulation coloré : jaune-rouge : 7,5 YR 6/4 - 6,25 YR 5/4 en humide, avec quelques raies distinctes, analogues ; sablo-argileux avec quelques granules noires arrondies ; massif à tendance polyédrique moyenne ; dur avec noyaux très durs ; faiblement poreux ; passage distinct et régulier à :
- 145 à 225 cm : Horizon d'accumulation moins coloré : rose 7,5 YR 6,5/3 - 6/4 en humide, sans raies ; analogue, moins structuré et poreux ; dur ; encore quelques racines ; passage graduel à :
- 225 à 240 cm : Sables argileux gris-rose : 5 YR 7/2 - 7/1 en humide, avec quelques taches claires, vagues ; massif ; dur ; compact ; sans enracinement.

Profil non calcaire.

Les caractères morphologiques essentiels définissant ce type de profils à "raies" sont les suivants :

- La grande épaisseur des horizons lessivés : le lessivage en argile se poursuit jusqu'à 145 cm, alors que l'accumulation et l'individualisation des hydroxydes - correspondant au maximum de coloration - apparaissent maxima entre 70 et 100 cm. L'accumulation discontinue sous forme de raies est peu intense : elle s'exprime par de nombreuses raies fines, colorées, réparties entre 70 et 145 cm avec un accroissement de leur nombre vers la base de ces horizons lessivés en argile (qui demeurent vivement colorés).
- L'horizon d'accumulation d'argile est relativement moins coloré ; il est faiblement structuré.
- La base de l'horizon d'accumulation et le passage au matériau sont marqués par des ségrégations d'hydroxydes, mais il n'y a pas de concrétionnement.

Les principales variations morphologiques observées dans ce type de profil concernent :

- L'érosion des horizons supérieurs : le profil peut être tronqué, comme SI.115 Gondéy : dans ce cas (cf. Fig. 13) les raies sont très proches de la surface du sol ; la limite entre les horizons lessivés et d'accumulation se situe alors à 50 cm au lieu de 145 cm pour SI.32 Yanga.

Ce n'est plus la base des horizons lessivés qui présente le maximum de coloration, mais le sommet de l'horizon d'accumulation. C'est également au sommet de l'horizon d'accumulation que l'on peut faire deux observations semblant liées au raccourcissement de ces profils par érosion :

- la pénétration de la matière organique est irrégulière de 35 à 70 cm, s'effectuant sous forme de trainées verticales brunes.
- certaines surfaces d'unités structurales (mal développées) présentent des plages claires plus sableuses ou limoneuses que l'intérieur coloré et plus argileux de l'agrégat. Cette ségrégation de texture en surface des agrégats a déjà été interprétée comme les premiers stades de dégradation d'un horizon d'accumulation par approfondissement du profil (U.S.D.A. : Soil Classification. 1960).
- La présence de concrétions en profondeur : l'immobilisation du fer et du manganèse peut se réaliser sous forme de concrétions indurées en-dessous de l'horizon d'accumulation, dont la base est seule tachée (Profil : SI. 115 Gondéy).

Caractéristiques analytiques

Le phénomène d'accumulation discontinue en raies n'a pu être étudié analytiquement en raison de la faible épaisseur des raies. Ces profils présentent les mêmes caractéristiques générales et notamment les mêmes types de variations de ces caractéristiques avec la profondeur, que les sols ferrugineux tropicaux lessivés à accumulation diffuse. On peut noter cependant que :

- l'accumulation et l'individualisation des hydroxydes (fer total) se réalisent dans le profil SI. 32 Yanga nettement au-dessus de l'horizon d'accumulation d'argile,
- la désaturation peut être très forte à la base des horizons lessivés : ($V < 30 \%$, pH de 4,9),
- dans le cas de profil tronqué, comme SI. 115 Gondéy, les horizons de surface sont particulièrement mieux pourvus en bases échangeables, matière organique et acide phosphorique : la désaturation des horizons lessivés est relativement aussi marquée mais correspond à des valeurs plus élevées du degré de saturation et du pH ($V = 64 \%$, pH de 5,9),
- l'immobilisation du fer est soulignée dans l'horizon de concrétionnement par une diminution importante du rapport fer libre/fer total.

2 - LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX INTENSEMENT LESSIVÉS A RAIES

Outre l'absence de coloration vive de l'horizon d'accumulation, ce type de sols à raies est caractérisé par l'intensité du lessivage qui augmente vers la base des horizons lessivés : ceux-ci peuvent être alors considérés comme des horizons A₂ qui seraient le siège d'une accumulation discontinue (en raies) particulièrement marquée (cf. Fig. 12 et 13).

Morphologie

Profil SI.94 Dongo (15/2/1964)

- Localisé à 1 km N.-E. de Dongo sur une levée sableuse d'un ancien système alluvial, rive gauche du Bahr Salamat.
- Alluvion sablo-argileuse micacée.
- Jachère à *Guiera senegalensis* dans une savane arborée claire à *Anogeissus leiocarpus*, *Combretum glutinosum*, *Acacia Sieberiana*. Dominance d'*Eragrostis tremula* dans la strate herbacée.

Surface : Plane avec sables déliés sur 1 à 2 cm d'épaisseur. Présence de grandes termitières coniques.

- 0 à 15 cm : Horizon cultivé, faiblement humifère, lessivé; brun gris : 10 YR 5/2 - 3/3 en humide, homogène; sableux, micacé; fondu à débit anguleux; peu dur, faiblement poreux; enracinement fin moyennement abondant; passage distinct et régulier à :
- 15 à 40 cm : Horizon faiblement humifère; lessivé avec début d'accumulation en raies entre 25 à 40 cm par deux raies sinueuses d'1 mm d'épaisseur, brun vif à 28 et 33 cm; horizon gris brun clair : 10 YR 6/2 - 4/3 en humide; texture et structure analogues; plus poreux; passage distinct et régulier à :
- 40 à 72 cm : Horizon encore humifère, lessivé avec accumulation en raies; gris-brun 10 YR 5,5/2 - 4/3 en humide, avec deux raies, à 52 et 63 cm, de 2 à 4 mm d'épaisseur, légèrement sinueuses, plus consistantes que l'horizon et présentant constamment une coloration brune à la partie supérieure sur 1 mm puis brun vif à jaune-rouge ensuite; l'horizon présente également des plages diffuses gris clair; texture et structure analogues; consistance légèrement plus forte; diminution faible de la porosité; enracinement fin décroissant; passage tranché et légèrement sinueux, souligné par une raie, à :
- 72 à 95 cm : Horizon lessivé avec accumulation en raies et plus coloré : brun pâle : 10 YR 6/3 - 5/3 en humide; sableux et mêmes caractéristiques que le précédent; passage tranché et légèrement sinueux, souligné par une raie, à :
- 95 à 125 cm : Horizon fortement lessivé et à importante accumulation en raies à 95, 106, 117, 125 cm, épaisses (1 cm), plus argileuses, consistantes et poreuses et présentant deux parties distinctes, l'une brune à la partie supérieure puis brun-jaune ensuite; horizon de coloration brun-jaune clair : 10 YR 6/4 - 5/3 en humide; sableux, fondu, peu cohérent à tendance particulière; assez poreux : porosité du matériau; passage tranché souligné par une raie à :

- 125 à 160 cm : Horizon d'accumulation diffuse d'argile et d'hydroxydes, constitué à sa partie supérieure par la fusion de raies superposées ; brun-jaune : 10 YR 5/4 - 4/4 en humide, homogène ; sableux à sablo-argileux ; fondu à débit anguleux ; peu dur à dur ; assez poreux ; passage graduel et régulier à :
- 160 à 200 cm : Horizon d'accumulation et passage au matériau sablo-argileux brun-jaune foncé : 10 YR 4,5/4 - 4/4 en humide, avec assez nombreuses taches diffuses jaune-rouge et quelques concrétions ferrugineuses noires peu cimentées ; sablo-argileux ; massif ; dur ; compact avec quelques pores tubulaires.

Profil non calcaire.

Morphologiquement ce type de profil est caractérisé par :

- Des horizons lessivés épais (125 cm), de faible coloration d'ensemble (brun-gris, gris, brun-jaune clair) et présentant (sur 1 mètre) des accumulations discontinues en raies dont le nombre, l'épaisseur et la consistance augmentent vers la base des horizons lessivés : on observe même à partir de 90 cm une différenciation dans chacune de ces raies : la partie supérieure est brune : (10 YR 5/3) sur 3 à 4 mm, alors que la base est colorée en brun-jaune : (10 YR 5/5) sur 6 à 8 mm d'épaisseur. Les parties de l'horizon lessivé situées entre les raies, présentent progressivement en profondeur une coloration plus claire, une texture plus grossière et une consistance plus faible (tendance particulière).
- Un horizon d'accumulation d'argile et d'hydroxydes résultant à sa partie supérieure de la fusion de raies épaisses superposées.
- Des phénomènes de ségrégation et de léger concrétionnement à la base de l'accumulation et dans la zone de passage au matériau.

On note une variation importante à ce type de morphologie lorsque l'alluvion sableuse dans laquelle se différencie le profil à raies, repose sur une alluvion argileuse : une accumulation de carbonates peut alors se manifester sous forme de nodules calcaires au voisinage de la zone de contact des deux matériaux.

Caractéristiques analytiques

Les textures sont presque exclusivement sableuses jusqu'à 125 cm avec des taux sensiblement égaux de sables fins et grossiers ; dans les horizons lessivés les teneurs en argile diminuent sensiblement avec la profondeur et l'on constate une nette accumulation argileuse dans les raies comparativement aux parties voisines lessivées (cf. tableau ci-après).

La matière organique, peu abondante en surface (horizon cultivé : 0,64 % à C/N de 12) migre profondément et s'accumule dans chacune des raies, en se localisant peut-être à la partie supérieure de celles-ci comme l'indiquerait la zonation de couleur observée dans leur épaisseur.

Le fer semble présenter dans le profil des variations parallèles à celles de la matière organique, au moins jusqu'à 125 cm.

Ainsi les variations concomitantes des trois constituants : argile, matière organique, fer total, confirment l'intensité croissante du lessivage vers la base des horizons lessivés et suggère que - bien que discontinue - l'accumulation s'effectue dans les raies en quantités croissantes avec la profondeur et d'une manière progressive jusqu'à l'horizon d'accumulation diffuse : le schéma de la figure 12 exprime cette interprétation des phénomènes de lessivage intense et d'accumulation discontinue progressive dans ce type de sols.

Profil : SI. 94 Dongo

	Ech.	Prof. cm	Argile	M. O.	Fer total	Somme B. E.	pH
Horizon lessivé avec raies	943	60/70	5	0,21	7,0	1,9	6,1
Raie	9441	106	14	0,38	10,6	5,4	6,9
Partie lessivée entre 2 raies	9442	110	2	0,21	-	-	6,0
Horizon d'accumulation	945	180/190	22	-	16,0	7,4	6,4

Le complexe absorbant est faiblement développé et sa saturation partielle (50 à 60 %) dans les horizons lessivés, s'élève à 70 % dans l'horizon d'accumulation. Le calcium domine largement : il est abondant dans la raie analysée où l'on note également une teneur relativement élevée en sodium.

L'acidité du profil est peu marquée : on note un minimum relatif (6,0) à la base des horizons lessivés et un maximum dans la raie analysée (6,9).

Les réserves en acide phosphorique sont moyennes et les teneurs en potasse échangeable apparaissent médiocres malgré la présence de paillettes micacées.

Conclusion

Cette catégorie de sol ferrugineux tropical lessivé est particulièrement bien typée au point de vue morphologique et certaines données analytiques confirment la manière originale dont migreraient et s'accumuleraient certains éléments dans le profil. Les mécanismes intervenant pour la réalisation de ce lessivage intense et de ces accumulations particulières, ne sont pas connus. On doit noter cependant que ce type de différenciation se manifeste dans des profils à drainage interne déficient et localisés sur des levées sableuses où se réalisent dans les sols voisins : (sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley à nodulation calcaire, solonetz solodisés hydromorphes), des concentrations en certains éléments (carbonates, sodium).

C - Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à pseudo-gley

Localisés en position topographique plus basse, ces sols représentent un terme de passage entre les sols ferrugineux tropicaux lessivés précédemment étudiés et les sols hydromorphes. Ils sont caractérisés par la formation d'un pseudo-gley à faible profondeur (entre 50 et 100 cm) qui se surimpose à une différenciation de type ferrugineux tropical lessivé. L'accumulation d'argile et d'hydroxydes est de type diffus mais elle se réalise à faible profondeur et le passage entre les horizons lessivés et d'accumulation est incomparablement plus tranché.

Deux tendances évolutives ont été décelées dans ces profils :

- l'une, évidente, vers les sols hydromorphes lorsque les conditions d'engorgement tendent à envahir le profil et que s'atténuent les caractéristiques de type ferrugineux tropical lessivé,
- l'autre, moins assurée mais intéressante au point de vue génétique, vers les solonetz solodisés hydromorphes, lorsque s'associent à une accumulation de carbonates en profondeur, certaines modifications des horizons d'accumulation et des horizons lessivés.

1 - LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS A PSEUDO-GLEY, SANS CONCRÉTIONNEMENT A NODULATION CALCAIRE

Morphologie

Profil : SI.9 Koutou Géré (15/2/1964)

- Localisé à 1 km S.-W. de Koutou-Géré sur la bordure d'une butte sableuse exondée.
- Matériau argilo-sableux dérivé du Continental Terminal.
- Savane arbustive dense et haute à *Butyrospermum Parkii*, *Khaya senegalensis*, *Detarium microcarpum*, *Terminalia avicennioides*.

Surface : Plane avec quelques grandes termitières coniques.

- 0 à 15 cm : Horizon cultivé humifère, lessivé, gris foncé : 10 YR 4/1 - 2/1 en humide, homogène ; sableux riche en sables grossiers ; fondu à tendance polyédrique ; peu dur ; assez poreux ; enracinement fin abondant ; passage distinct et régulier à :
- 15 à 30 cm : Horizon encore humifère, lessivé, gris foncé : 10 YR 4,5/1 - 3/2 en humide ; sableux légèrement argileux ; polyédrique fin faiblement développé ; peu dur ; bien poreux ; enracinement fin abondant ; passage graduel et régulier à :

- 30 à 60 cm : Horizon lessivé, de couleur : brun : 7,5 YR 5/4 - 4/4 en humide, avec quelques légères marbrures diffuses jaune-rouge ; sablo-argileux ; massif à tendance polyédrique moyenne ; dur ; assez poreux ; enracinement fin décroissant ; passage distinct et régulier à :
- 60 à 90 cm : Horizon d'accumulation d'argile et d'hydroxydes : brun vif : 7,5 YR 5/6 - 4/4 en humide avec quelques rares taches diffuses jaune-rouge ; argilo-sableux ; massif à tendance prismatique moyenne ; dur ; faiblement poreux à compact ; enracinement fin rare ; passage graduel et régulier à :
- 90 à 130 cm : Horizon de pseudo-gley et passage au matériau, brun clair : 7,5 YR 6/4 - 5/4 en humide avec nombreuses taches moyennes jaune-rouge diffuses ; argilo-sableux à argileux à sables grossiers ; massif à débit anguleux ; dur ; compact.

Profil non calcaire.

Morphologiquement les profils de ce type sont caractérisés par :

- Une faible épaisseur des horizons lessivés (60 cm) relativement à celle des sols à raies non érodés (125 à 145 cm). La couleur de ces horizons est à dominance grise.
- La présence de quelques ségrégations à la base des horizons lessivés.
- Le passage plus tranché entre les horizons lessivés et d'accumulation.
- La coloration encore vive de la partie supérieure de l'horizon d'accumulation légèrement taché, et la structure à légère tendance prismatique.
- Le pseudo-gley à partir de 90 cm, qui se poursuit dans le matériau.

Caractéristiques analytiques

La texture superficielle est moins sableuse (10 % d'argile) que celle des autres sols ferrugineux tropicaux lessivés ; les sables grossiers dominant (matériau dérivé du Continental Terminal). Les teneurs en argile augmentent progressivement dans les horizons lessivés puis rapidement dans la zone d'accumulation pour s'établir en profondeur à une valeur élevée (47 %). Le lessivage est intense mais une néosynthèse argileuse ou des actions d'érosion superficielle ne doivent pas être exclues pour rendre compte de ces rapides et importantes variations texturales.

La matière organique est en quantité relativement importante en surface (1,8 %) et ne décroît que faiblement en profondeur (0,96% à 60 cm). Ces teneurs relativement fortes, associées à des C/N élevés (> 17) correspondent à un début d'accumulation organique due à l'engorgement.

Le complexe absorbant est relativement peu désaturé (80 %) dans l'horizon humifère de surface mais cette désaturation augmente et devient maximum à la base des horizons lessivés (59 %) pour ne décroître que légèrement dans le pseudo-gley (63 %). Le pH décroît depuis la surface (6,3) jusqu'au pseudo-gley (5,6). Le calcium domine largement dans le complexe. On doit noter par ailleurs une augmentation régulière mais relativement faible du sodium échangeable avec la profondeur.

L'accumulation du fer et son immobilisation dans le pseudo-gley est analytiquement confirmée, mais la mobilité de cet élément resterait faible dans les horizons lessivés humifères.

Les teneurs en acide phosphorique sont moyennes à bonnes ; celles en potasse échangeable moyennes à médiocres.

Ainsi les données morphologiques et analytiques indiquent dans ces profils les interactions des processus de lessivage et d'engorgement de profondeur.

2 - LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS A PSEUDO-GLEY, AVEC CONCRÉTIONNEMENT ET NODULATION CALCAIRE

Morphologie

Profil : SI. 105 Dongo (15/2/1964)

- Localisé à 7,0 km N. -E. de Gourou sur la bordure d'une butte sableuse exondée.
- Alluvion sablo-argileuse, micacée.
- Jachère à *Guiera senegalensis*, avec *Anogeissus leiocarpus*, *Combretum glutinosum* ; jachère reprise en culture de coton.

Surface : Plane avec sables déliés et présence de grandes termitières.

- 0 à 25 cm : Horizon cultivé, faiblement humifère, lessivé ; gris foncé : 10 YR 4/1 - 2/1 en humide, homogène ; sableux avec des micas ; structure fondue à débit anguleux régulier ; peu dur ; faiblement poreux ; enracinement fin abondant ; passage distinct et régulier à :
- 25 à 45 cm : Horizon lessivé, micacé, brun gris : 10 YR 5/2 - 4/2 en humide, homogène ; sableux ; fondu à débit anguleux ; peu dur ; assez poreux à poreux ; passage distinct et régulier à :
- 45 à 95 cm : Horizon d'accumulation d'argile et d'hydroxydes, brun-gris : 2,5 Y 5/2 - 4/2 en humide avec assez nombreuses taches diffuses jaune-rouge et quelques petites concrétions ferrugineuses brunes, cimentées ; argilo-sableux, micacé ; structure prismatique moyenne, moyennement développée à débit cubique ; très dur ; faiblement poreux à compact ; passage tranché et régulier marqué par une limite de carbonatation à :
- 95 à 135 cm : Horizon de nodulation calcaire par action de nappe ; gris clair : 2,5 Y 7/2 - 5/2 en humide ; avec nombreux nodules calcaires de tailles variées et fortement cimentés ; sablo-argileux, micacé ; structure polyédrique fine bien développée ; dur ; faiblement poreux.

Ce profil se caractérise morphologiquement par :

- Des horizons lessivés peu épais (45 cm) peu humifères et de couleur grise.
- Un horizon d'accumulation à structure prismatique, à forte consistance ; il est le siège d'un pseudo-gley avec concrétionnement.
- Une accumulation de carbonates se réalisant sous forme de nodules calcaires dans un horizon à caractères réduit mais bien structuré.

Caractéristiques analytiques

Les variations texturales sont importantes et tranchées dans ce profil : les textures passent de sableuse en surface (5 % d'argile) à argilo-sableuse dans l'horizon d'accumulation (32 % d'argile) puis sablo-argileux (19 % d'argile) dans le matériau où se produit la nodulation calcaire. La présence de micas est constante dans tous les horizons.

La matière organique est peu abondante en surface (0,7 %) et sa diminution est très faible avec la profondeur (0,5 % à 80 cm). Le C/N est de l'ordre de 14.

Le complexe absorbant est faiblement désaturé dans les horizons lessivés avec un minimum de saturation à leur base pour un pH de 6,2. L'horizon d'accumulation est saturé et légèrement carbonaté (pH de 8,1) et la base du profil est fortement carbonatée (8 % de $\text{CO}_3 \text{Ca}$ - pH de 8,4). On doit noter l'absence de concentration de sodium échangeable à la base du profil.

La mobilité du fer est faible et elle décroît progressivement depuis la surface.

L'horizon superficiel est faiblement pourvu en acide phosphorique ; les teneurs en potasse sont moyennes en surface et bonnes en profondeur.

Les relations génétiques que ce profil pourrait présenter avec les solonetz solodisés hydromorphes (sols halomorphes lessivés), sont évoquées par l'apparition brusque de la structure prismatique et le développement de la consistance, à la base des horizons lessivés. Le concrétionnement semble avoir également tendance à se localiser à la partie supérieure des prismes de l'horizon d'accumulation. La limite de carbonatation est tranchée, soulignant une action de nappe temporaire avec des phénomènes de concentration, et une structure de type polyédrique se développe dans cet horizon carbonaté. Aucun caractère morphologique de la solodisation n'est décelable dans ce profil qui ne présente d'ailleurs aucune accumulation de sodium susceptible de provoquer une alcalisation du complexe.

3 - CONCLUSIONS SUR LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS A PSEUDO-GLEY

Ce sont des phénomènes d'engorgement liés à la présence d'une nappe temporaire s'exerçant à la base des profils qui caractérisent ces sols, dont le type général de différenciation reste celui d'un sol ferrugineux tropical lessivé. Suivant les conditions particulières de drainage interne

et de régime hydrologique, des concentrations localisées d'éléments (notamment de carbonates) sont liées ou non à ces phénomènes d'engorgement, pouvant orienter l'évolution de ces sols soit vers les sols hydromorphes, soit vers les sols halomorphes.

Au point de vue de l'utilisation de ces sols, ces phénomènes d'engorgement profond peuvent déterminer un régime hydrique d'autant plus favorable que les horizons de surface bien drainés et à texture légère présentent généralement des teneurs satisfaisantes en matières organiques et en bases.

D - Les sols ferrugineux tropicaux lessivés sur ancienne cuirasse ferrugineuse

Ils n'occupent qu'une très faible partie de la superficie de la carte, estimée à 1 % et sont localisés au coin nord-ouest de la feuille en bordure du Salamat. La présence, généralement à faible profondeur, d'une cuirasse ferrugineuse correspond à des processus anciens de cuirassement sur le piedmont du massif du Guéra. Ces cuirasses représentent en effet d'importantes accumulations d'hydroxydes formant une vaste auréole autour de ce massif granitique ; leur épaisseur est faible - généralement inférieure à 1 mètre - mais leur extension est généralisée à l'ensemble des anciens glacis d'épandage constituant ce piedmont du massif du Guéra.

Sur cette formation pédologique ancienne correspondant à un climat plus humide que l'actuel, on observe des sols généralement peu profonds de type ferrugineux tropical lessivé à taches (sans concrétions). L'accumulation de l'argile dans ces profils apparaît de type diffus et tranché : ce dernier caractère paraissant lié à des actions d'érosion superficielle, responsables de l'enlèvement actuel ou ancien d'une partie plus ou moins grande des horizons supérieurs lessivés.

Il apparaît difficile dans bien des cas de pouvoir définir le matériau originel à partir duquel se sont différenciés ces sols. On est souvent conduit en effet - par la caractérisation morphologique des profils - à admettre que le matériau originel représente lui-même un ancien sol ferrugineux tropical lessivé à cuirasse, plus ou moins tronqué (SI.122 Malé). Dans d'autres cas, le matériau est une alluvion (micacée) ayant recouvert la cuirasse (SI.79 Singako) ou bien des produits de ruissellement issus de sols voisins (SI.123 Malé).

Malgré la présence d'une savane boisée irrégulièrement dense, ces sols sont l'objet d'une érosion généralisée par ruissellement en nappe. Les pentes sont faibles (de l'ordre de 1 %) mais la formation de croûtes pluviales en surface limiterait l'infiltration des eaux de pluies. L'écoulement et le rassemblement des eaux de ruissellement créent des petites mares temporaires dans les légères dépressions de la surface cuirassée : on observe dans ce cas un passage entre des sols ferrugineux lessivés érodés et des sols hydromorphes à engorgement temporaire d'ensemble et gley de surface.

Le profil SI.79 Singako peut être pris comme exemple de sol peu épais sur cuirasse.

Morphologie :

Profil : SI.79 Singako (12/2/1964)

- Localisé à 2 km W. du passage du Bahr Salamat (piste Singako - Lac Iro), à l'extrémité méridionale du glacis cuirassé bordant le Lac Iro et la vallée du Bahr Salamat.
- Alluvion sablo-argileuse micacée, recouvrant une ancienne cuirasse ferrugineuse.
- Savane arborée dense à : *Daniella oliveri*, *Anogeissus leiocarpus*, *Khaya senegalensis* avec strate arbustive marquée à : *Grewia mollis*, *Bauhinia reticulata*, *Gardenia*... *Terminalia avicennioïdes*, *Combretum glutinosum*. Repousses de *Borassus*.

Surface : Plane avec localement des plages de sables déliés, des rejets peu abondants de vers de terre et de fréquentes termitières coniques de 1 m de hauteur. Présence irrégulière d'une litière de feuilles.

- 0 à 7 cm : Horizon humifère, lessivé, brun-gris : 10 YR 5/2 - 3/2 en humide; sableux avec des paillettes de micas; polyédrique moyen faiblement développé; peu dur; faiblement poreux mais présence de nombreux canaux; enracinement fin abondant; passage distinct et régulier à :
- 7 à 20 cm : Horizon encore humifère, lessivé, brun : 10 YR 5/3 - 3/4 en humide, avec des remplissages bruns; apparition de revêtements argileux vers 15 cm; sableux; fondu à tendance polyédrique moyenne; peu dur à dur; poreux avec nombreux tubes et canaux; racines et radicelles nombreuses; passage distinct et régulier à :
- 20 à 45 cm : Horizon d'accumulation, rouge-jaune : 5 YR 5/6 - 4/6 en humide, avec des revêtements argileux brun vif, des remplissages bruns dans les canaux et d'assez nombreuses petites taches rouges, distinctes; sablo-argileux; polyédrique moyen faiblement développé; dur; agrégats moins poreux mais canaux toujours nombreux; nombreuses racines et radicelles horizontales; passage brutal et assez régulier à :
- 45 cm... Ancienne cuirasse ferrugineuse à faciès lamellaire, cimentant des graviers de quartz; revêtements argileux brun vif, nombreux et épais dans les cavités et à la surface supérieure des lamelles de cette cuirasse.

Profil non calcaire.

Les caractères morphologiques essentiels de ce profil sont les suivants :

- Le niveau cuirassé débute à 45 cm de profondeur mais l'horizon d'accumulation d'argile se poursuit sous forme de revêtements argileux dans les canaux et les cavités de la cuirasse. Cette accumulation débute en fait dès 15 cm dans un horizon de transition (7 à 20 cm), où dominent néanmoins les caractères du lessivage.
- Les horizons humifères lessivés sont donc peu épais et sont caractérisés par une couleur à dominance brune et une intense activité biologique.
- L'horizon d'accumulation reposant sur la cuirasse est vivement coloré (rouge-jaune : 5 YR 5/6), et légèrement marqué par de petites ségrégations rouges pouvant correspondre à l'action d'une nappe temporaire perchée sur le niveau cuirassé.

Au point de vue analytique, les variations texturales sont importantes et tranchées : (9 % d'argile en surface, 21 % à 30 cm).

La matière organique est abondante : (1,8 %) en surface ; bien que s'individualise un horizon superficiel humifère bien tranché de type forestier, la pénétration humifère est intense ; le C/N est élevé, de l'ordre de 17.

Le complexe absorbant est presque saturé en surface (pH : 7,0) ; cette saturation décroît avec la profondeur mais le pH reste supérieur à 6,0.

Variations

Elles correspondent principalement, soit à des profils plus épais : SI. 122 Malé, soit à des profils encore moins épais, soumis à un engorgement d'ensemble et présentant une différenciation de sol hydromorphe : SI. 123 Malé.

- Le Profil : SI. 122 Malé (cf. dossier correspondant en annexe et figure 13) est profond de 160 cm (sur la cuirasse), et caractérisé par un horizon d'accumulation très épais, de 20 à 160 cm, se poursuivant dans la cuirasse par des revêtements argileux. Les horizons lessivés ont relativement une épaisseur particulièrement faible (20 cm) et ce profil doit être considéré comme tronqué par érosion.

Les données analytiques montrent une forte saturation de l'horizon superficiel (pH 6,8), comme dans le profil précédent. Cependant le pH descend brusquement dans les horizons d'accumulation et se maintient sur plus d'un mètre à la valeur de 5,3. On note également la formation d'un horizon superficiel humifère tranché, de type forestier (à C/N élevé), et la pénétration humifère atteint 1 mètre de profondeur.

- Le Profil : SI. 123 Malé (cf. dossier correspondant en annexe et figure 13) se situe dans une dépression de la surface cuirassée, correspondant à une mare temporaire ; il est formé à partir de matériaux de ruissellement reposant sur la cuirasse (30 cm d'épaisseur). C'est un sol hydromorphe peu profond, à engorgement temporaire d'ensemble, caractérisé par un horizon supérieur gleyifié, acide (pH : 5,6), à accumulation de matière organique mal décomposée (2 %) ; le profil se poursuit par un horizon à taches et concrétions, également humifère et acide, reposant sur la cuirasse ferrugineuse dans laquelle ne s'observent plus ces revêtements argileux.

Les deux caractères particuliers de ces sols ferrugineux tropicaux lessivés peu épais sur cuirasse ancienne, sont donc l'érosion superficielle des profils et la formation d'un horizon supérieur tranché bien humifère et saturé, de type forestier.

E - Conclusions et conditions d'utilisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés

Les facteurs principaux déterminant la formation des sols ferrugineux tropicaux lessivés sont donc ceux conditionnant :

- L'individualisation des hydroxydes, leur mobilisation dans les horizons supérieurs et souvent leur immobilisation en profondeur sous forme de ségrégations ou de concrétions. Dans les horizons supérieurs, la matière organique joue un rôle prépondérant dans la migration des hydroxydes ; en profondeur ce sont principalement les conditions d'engorgement qui régissent leur immobilisation.
- Le lessivage de l'argile et des hydroxydes : le lessivage, conditionné par la percolation des eaux, la matière organique, et les possibilités de drainage interne, est plus ou moins intense dans les profils étudiés : il est maxima dans les sols à "raies" où il aboutit à la formation d'horizons A₂ pouvant être situés à plus d'un mètre de profondeur ; il est encore intense dans les sols "ocre", mais il est réduit dans les sols à pseudo-gley par remontée du niveau d'engorgement. Outre l'entraînement de l'argile et des hydroxydes - qui n'est pas toujours strictement concomitant (SI. 32 Yanga) - la matière organique et les bases sont également lessivées : les horizons lessivés sont ainsi plus ou moins fortement désaturés sur une grande épaisseur, ce qui peut représenter des conditions peu favorables pour l'alimentation minérale des plantes à enracinement peu profond.
- L'engorgement de profondeur. Le colmatage de la base de profils par l'accumulation des éléments fins lessivés favorise l'engorgement en profondeur : néanmoins celui-ci paraît être surtout sous la dépendance de nappes temporaires liées au régime hydrologique régional. Tous les profils étudiés (à l'exception de SI. 122 Malé), présentent des phénomènes de ségrégations (taches) et quelques-uns, des phénomènes de concrétionnement. Lorsque cet engorgement s'exerce à une profondeur moyenne (entre 50 et 100 cm) comme dans certains sols à pseudo-gley profond,

il peut améliorer le régime hydrique en assurant aux végétaux cultivés une réserve en eau plus importante : c'est l'une des raisons pour lesquelles les sols à pseudo-gley sont préférés pour la culture du cotonnier aux sols profondément lessivés et à engorgement trop profond.

Des facteurs secondaires déterminent par ailleurs des différenciations particulières des profils : ce sont notamment :

- Les actions d'érosion superficielle (plus ou moins actuelles). La plupart des profils sont en effet affectés par ces phénomènes d'érosion qui diminuent l'épaisseur du sol par enlèvement des horizons supérieurs. Les cas extrêmes sont représentés par certains profils sur cuirasse ancienne dans lesquels l'épaisseur du sol devient si faible (< 50 cm) qu'elle limite fortement l'utilisation agricole. Mais dans bien d'autres cas où la différenciation du profil est profonde, l'enlèvement d'horizons superficiels lessivés a eu pour conséquence de rapprocher de la surface du sol les horizons d'accumulation, et de favoriser ainsi la "recharge" en bases des horizons supérieurs : on note ainsi dans les profils tronqués des teneurs en matière organique (1 à 1,8 %) et des pH (6,8 à 7,2) supérieurs à ceux des horizons superficiels des sols non ou peu érodés : (MO : 0,6 à 0,7 % - pH 6,2 à 6,4).
- L'utilisation actuelle et ancienne de ces sols. La disparition du couvert végétal de type forestier et l'utilisation de ces sols en cultures sèches, ont pour conséquences principales :
 - une diminution du stock organique,
 - une diminution des éléments minéraux en surface, par exportation, par lessivage et également parce que la recharge en bases à partir des horizons profonds n'est plus assurée par les plantes cultivées à court enracinement.

Ainsi une exploitation non conservatrice de ces sols doit avoir recours à la jachère pour assurer périodiquement la reconstitution de leur potentiel de fertilité.

IV - LES SOLS FERRALLITIQUES

Ils sont représentés, dans cette feuille Singako, par les sols "Rouges" strictement localisés sur les différents Koros : Koros de Kyabé, de Balé et du sud de Singako. Exceptionnellement cultivés sur la bordure des Koros où ils passent aux sols ferrugineux tropicaux lessivés, ces sols sont généralement occupés par une forêt claire bien conservée, à dominance de légumineuses. Ce sont des sols profonds qui sont différenciés exclusivement sur des matériaux du Continental Terminal. La formation de ces sols par "ferrallitisation" est considérée comme ancienne et correspondant à un climat plus humide que l'actuel.

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX
SOLS FERRALLITIQUES



-  Sols faiblement ferrallitiques
-  Sols ferr. tropicaux lessivés sur cuirasse
-  Sols ferr. tropicaux lessivés

Figure 14

Les sols ferrallitiques appartiennent, comme les sols ferrugineux tropicaux, à la classe des sols à sesquioxydes fortement individualisés et à humus de décomposition rapide ; ils constituent une sous-classe définie par une altération profonde et intense des minéraux avec individualisation de sesquioxydes de fer et d'alumine. La fraction argileuse est à dominance de kaolinite. La capacité d'échange, le degré de saturation en bases et la réserve minérale sont généralement très faibles.

Les sols rouges des Koros sont classés dans le groupe des sols faiblement ferrallitiques d'après l'ensemble de leurs caractères morphologiques et analytiques. Ils appartiennent à une unité pédologique bien typée et très commune en Afrique tropicale sur les formations du Continental Terminal (R. MAIGNIEN - 1961).

Parmi les profils étudiés : SI.1 Koutou Géré, SI.15 Singako, SI.26 Yanga, on a observé peu de variations dans les caractéristiques morphologiques et analytiques qui sont les suivantes :

Morphologie

Profil : SI. 26 Yanga (12/2/1964)

- Localisé à 1 km W. de Kouyako sur la bordure S.-E. du Koro de Kyabé.
- Matériau argilo-sableux du Continental Terminal.
- Savane arborée et arbustive dense :
 - Strate arborée : *Daniellia oliveri*, *Butyrospermum parkii*, *Parkia biglobosa*, *Entada africana*, *Sterculia setigera*.
 - Arbustive : *Combretum*, *Psorospermum*... *Grewia mollis*.
 - Herbacée : grandes Andropogonées (brûlées) par touffes.

Surface : Plane avec plages de sables déliés (quartz anguleux roses) entre les touradons de graminées surélevés de 3 à 5 cm. Localement fine croûte lissée, brune, squameuse. Quelques grandes termitières coniques, rouges, de plus d'un mètre de hauteur. Présence de petites termitières en dômes et de canaux superficiels de termites. Par plages, rejets bruns de vers de terre (Echantillon : SI. 266) et rejets rouges d'insectes et de fousseurs.

- 0 à 13 cm : Horizon humifère, brun rouge : 6,25 YR 4/3 - 3/3 en humide, avec quelques remplissages plus rouges et plages brunes ; sableux légèrement argileux ; massif à débit anguleux à arêtes vives et à faces planes légèrement mamelonnées, avec quelques petits agrégats polyédriques ; peu dur ; faiblement poreux avec tubes et canaux ; chevelu racinaire assez abondant ; passage distinct et régulier à :
- 13 à 26 cm : Horizon encore humifère, brun-rouge : 3,75 YR 4/4 - 3/4 en humide, non homogène comme le précédent ; sablo-argileux ; massif à tendance polyédrique fine ; peu dur à dur ; assez poreux sans macroporosité ; enracinement progressivement décroissant ; passage distinct et régulier à :
- 26 à 43 cm : Horizon rouge : 2,5 YR 4/6 - 3/6 en humide, non homogène avec encore quelques remplissages bruns ; progressivement plus argileux ; structure polyédrique fine faiblement développée ; peu dur ; assez poreux avec pores plus fins ; diminution du chevelu, avec quelques grosses racines ; passage distinct et régulier à :
- 43 à 175 cm : Horizon rouge : 2,5 YR 4/6 - 3/6 en humide, homogène ; argilo-sableux avec augmentation progressive de la teneur en argile ; structure polyédrique fine à moyenne, moyennement développée, composée de "pseudo-sables" ; consistance légèrement inférieure en profondeur ; assez poreux type tubulaire fin dominant ; répartition régulière des grosses racines.
- 175 à 280 cm : Sondage à la tarière : la couleur et la texture demeurent analogues.

La morphologie de ce profil est caractérisée par :

- Une grande profondeur.
- Une couleur rouge assez uniforme, qui est plus souvent en profondeur de teinte 10 R (Code MUNSELL) que 2, 5 YR.
- Une faible différenciation du profil : dans son ensemble le profil apparaît très homogène mais à la partie supérieure (0 à 26 cm), deux ou trois horizons - généralement mal individualisés - peuvent être distingués:
 - un horizon humifère, brun-rouge, massif, faiblement poreux et peu dur,
 - un horizon moins humifère, de couleur plus claire, et légèrement plus poreux,
 - un horizon encore moins humifère, plus rouge, moins poreux mais dont la consistance est plus forte.

Cette dégradation de la partie supérieure des profils pourrait être interprétée comme un début d'évolution de type ferrugineux tropical, sans que la variation progressive des teneurs en argile dans ces horizons puisse elle-même être interprétée comme le résultat d'un lessivage : aucune manifestation d'accumulation d'éléments n'a en effet été observée dans ces profils.

- Une structure, dès 26 cm, qui est uniformément de type polyédrique fin à moyen, composée de "pseudo-sables" c'est-à-dire des agrégats cimentés par des sesquioxides de fer. Ces pseudo-sables confèrent à ces horizons profonds une porosité supérieure à celle de surface, et assurent ainsi un bon drainage interne.

Les seules variations observées au point de vue morphologique concernent la plus ou moins grande épaisseur des horizons supérieurs humifères, plus sableux et faiblement structurés.

Caractéristiques analytiques

Les textures sont sableuses à sablo-argileuses en surface et deviennent très progressivement (de 50 à 100 cm) argilo-sableuses à argileuses. L'augmentation d'argile est beaucoup plus progressive que dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés et ne relèverait pas d'un processus de lessivage vertical mais plutôt d'une dégradation et de remaniements superficiels (R. MAIGNIEN - 1961) : on n'observe pas d'ailleurs de revêtements argileux en profondeur et les teneurs en argile peuvent demeurer remarquablement constantes en-dessous de 50 à 100 cm.

Les teneurs en limon (2 - 20 μ) sont toujours très faibles (1 à 4 %), correspondant à des rapports limon/argile généralement inférieurs à 0,10.

Les sables grossiers dominent constamment dans la fraction sableuse (SG/SF > 2).

Les teneurs en matière organique sont comprises en surface entre 1 et 1,5 % avec un C/N voisin de 16. Les taux d'humification seraient faibles et les acides humiques (H₁) domineraient en surface alors que les acides fulviques pourraient migrer profondément (Ch. THOMANN - 1964).

Le complexe absorbant est d'abord caractérisé par une très faible capacité d'échange (10 à 15 mé./100 g argile) due à la dominance de kaolinite. La saturation en bases est moyenne en surface avec un pH légèrement supérieur à 6 ; elle diminue en profondeur (toujours inférieure à 50 %) et les pH peuvent accuser des valeurs très basses (4,4 à 100 cm : SL 26 Yanga). Cette variation des pH - plus importante qu'en sol ferrugineux tropical lessivé - serait due aux apports de la végétation forestière qui contribuent à remonter le pH en surface et accusent ainsi les différences avec les horizons profonds (R. MAIGNIEN - 1961). Le calcium domine dans les bases échangeables, le rapport Ca/Mg variant de 1,5 à 2.

Les teneurs en fer total sont en général plus élevées que celles des sols ferrugineux tropicaux lessivés ; dans les profils de sols rouges, elles augmentent sensiblement dans les 50 premiers centimètres ; le rapport fer libre/fer total, lui-même plus élevé (> 80 %), demeure sensiblement constant dans toute l'épaisseur du profil : (SL 1 Koutou Géré, SL 26 Yanga). La tendance à l'immobilisation du fer est donc nettement moins marquée qu'en sols ferrugineux et elle se concrétiserait seulement par la formation de pseudo-sables : ceux-ci résulteraient d'une liaison particulière du fer avec la kaolinite.

Les teneurs en phosphore total sont moyennes en surface et celles en potasse échangeable doivent être considérées comme médiocres à mauvaises.

La stabilité structurale - comme la perméabilité - est faible dans les horizons supérieurs dégradés et elle augmente dans les horizons inférieurs à "pseudo-sables".

Extension - Utilisation

Ces sols rouges faiblement ferrallitiques occupent une surface égale à 5 % de celle intéressant cette carte Singako, soit environ 60 000 ha. Ils sont localisés sur les reliefs très aplanis des Koros, qui peuvent dominer les plaines d'inondation d'une quarantaine de mètres.

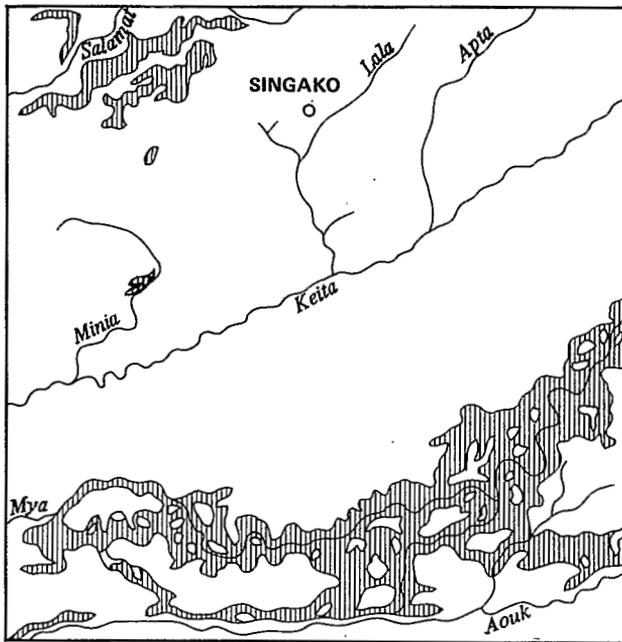
Leur utilisation actuelle est très faible en raison des difficultés d'implantation de villages, dues principalement à la grande profondeur à laquelle se situent les nappes.

Les sols rouges faiblement ferrallitiques ne sont actuellement utilisés qu'à la bordure des Koros, dans la zone de contact avec les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Ces sols qui présentent incontestablement des caractères de sols forestiers, paraissent évoluer rapidement sous l'influence du défrichement et des cultures annuelles : les taux de matière organique s'abaissent rapidement jusqu'à moins de 0,5 % et l'effet de régénération de la jachère ne serait atteint qu'au bout de 5 à 6 ans (G. BOUTEYRE - 1963). Par ailleurs, ces sols rouges présentent une nette susceptibilité à l'érosion due à leur texture sableuse en surface et à leur faible stabilité structurale.

V - LES SOLS HALOMORPHES

Ils sont représentés dans la région étudiée, par des sols non cultivés, situés généralement sur les bourrelets alluviaux anciens : ce sont les sols dénommés "Naga" dans d'autres régions du Tchad. Leur végétation très caractéristique, soit en flots boisés, soit en savane arbustive très clairsemée, avec de petits bouquets de *Lannea humilis*, permet souvent de les identifier aisément. Localisés le long des réseaux hydrographiques anciens ou actuels, ils occupent environ 10 % de la superficie totale de la carte.

SOLS HALOMORPHES LESSIVÉS



 Solonetz solodisés hydromorphes dominants en association avec des vertisols

Figure 15

Les sols halomorphes observés et cartographiés dans la région de Singako sont du type : à structure modifiée, lessivé à alcalis. Leurs caractères essentiels sont :

- la richesse en sodium échangeable dans un des horizons B (plus de 12 % de la capacité d'échange saturée en sodium), y provoquant une structure massive diffuse,
- la migration des colloïdes minéraux et des sesquioxydes, et leur accumulation dans un horizon B.

A ces caractères généraux s'ajoutent dans les sols observés, les caractères particuliers suivants, conduisant à considérer ces sols halomorphes lessivés comme des solonetz solodisés :

- La structure en colonnes du sommet des horizons B.
- La présence d'un horizon A₂ clair et acide, pénétrant entre les colonnes.

Cet horizon A₂ résulte de l'action des processus de solodisation et de lessivage : il se présente morphologiquement sous deux aspects, caractérisés par :

- Soit un éclaircissement de couleur, une diminution des teneurs en argile et l'apparition d'une structure particulière, qui deviennent progressivement maximum à la base de ces horizons.
- Soit la localisation de ces phénomènes à la surface d'agrégats qui présentent ainsi à leur périphérie une zone éclaircie plus sableuse (ou limoneuse) et à leur centre une texture plus argileuse et une coloration plus vive : ce second aspect est dénommé "solodisation par taches", mais en l'absence d'analyses précises et d'observations micro-morphologiques, il peut être interprété comme de simples ségrégations localisées de texture : il serait dans ce cas comparable à celui observé dans certains horizons lessivés de sols ferrugineux tropicaux (SI. 115 Gondéy).

Dans les deux cas, cet horizon A₂ est limité à sa base par une croûte blanchie, à texture légère et à porosité vésiculaire, recouvrant le sommet et les faces latérales des colonnes de l'horizon d'accumulation sous jacent.

La différenciation particulière de ces profils est liée à une concentration de l'ion sodium qui tend à saturer le complexe absorbant. L'accumulation de ce cation se réalise, vers la base des profils, par concentration des eaux de la nappe temporaire dont la nature et les variations sont liées à celles des eaux d'inondation. Ces solonetz solodisés sont en effet strictement localisés soit à la limite d'inondation, soit sur de petites éminences exondées (bourrelets, levées), dont la texture est relativement plus légère que celle des plaines inondées voisines. La concentration de certains éléments dissous (sodium, sels) se réalise préférentiellement dans ces zones particulières du modelé alluvial. Pour cette raison, les solonetz solodisés différenciés dans un tel pédoclimat, sont considérés comme d'origine hydromorphe (G. BOCQUIER - 1964).

La concentration de sodium à la base du profil est généralement liée à celle d'autres sels comme les carbonates, mais cette relation n'est pas obligatoire et dans certains profils il n'y a pas d'accumulation de carbonates dans les horizons où le sodium est présent en fortes quantités.

Les matériaux originels à partir desquels se sont différenciés ces sols sont toujours des alluvions d'âge varié et dont la texture, souvent riche en limon, varie d'argilo-sableuse à argileuse.

La morphologie de ces sols est particulièrement bien typée et ne présente que peu de variations importantes dans cette région. Un seul profil sera donc caractérisé et certaines relations génétiques qu'il présente avec les vertisols seront ensuite évoquées.

A - Caractérisation des solonetz solodisés hydromorphes

Le Profil SI.110 Singako est situé à la bordure méridionale de la vaste plaine inondée de Ganatir. Il est plus précisément localisé dans une dépression d'un microrelief gilgai dont les sommets sont occupés par des vertisols et en particulier par le Profil SI.109 Singako, situé à 6 mètres de distance (cf. Planche 13).

Morphologie (cf. Planche 12)

Profil : SI.110 Singako (14/2/1964)

- Localisé à 4,6 km N.E. de Singako.
- Alluvion argilo-sableuse du bassin du Salamat.
- Savane arborée basse, claire à *Anogeissus leiocarpus*, *Terminalia macroptera*. Quelques rares *Lanea humilis*, en position de micro-dépression.

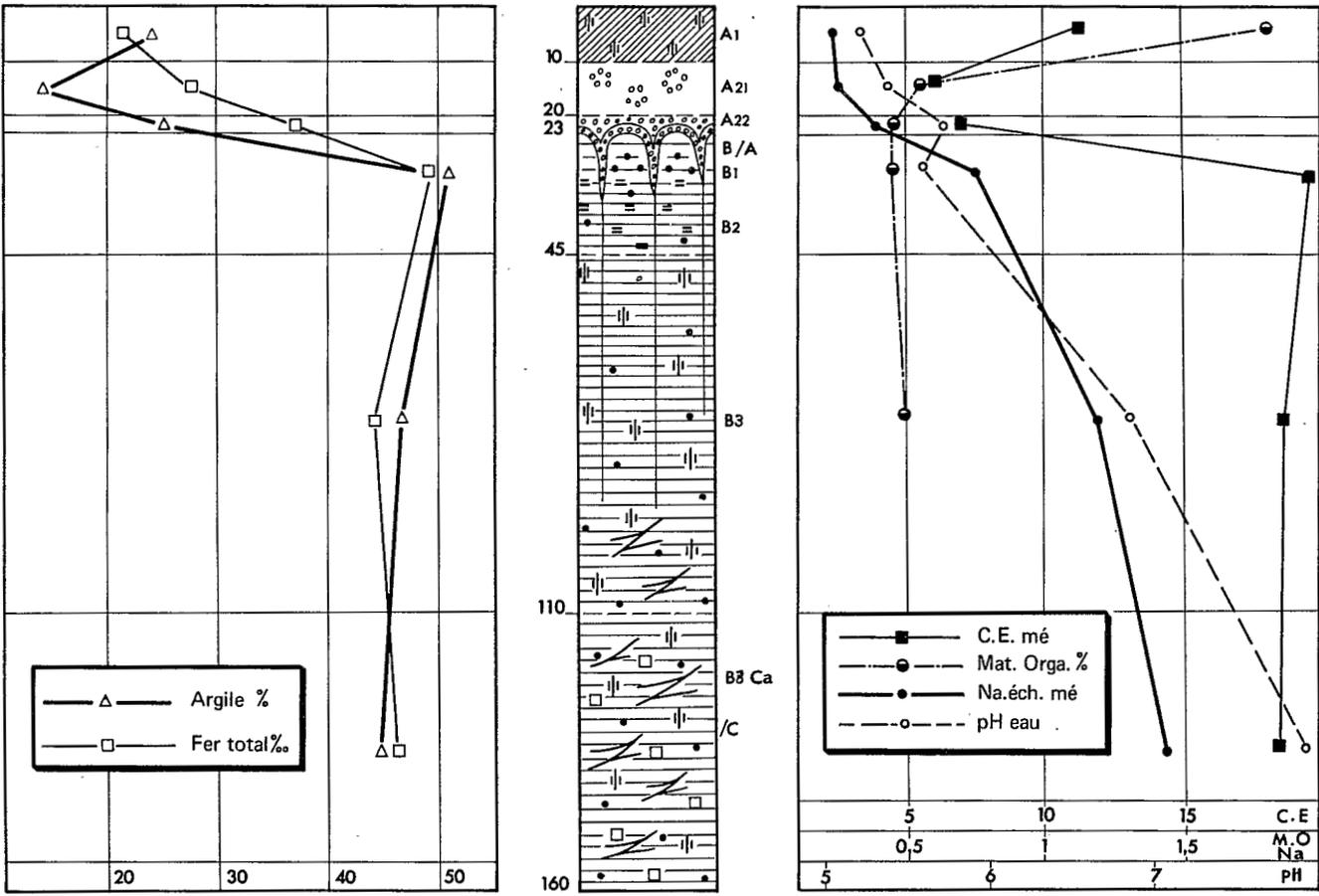
Surface : Microrelief "gilgai" décrit pour le profil SI.109. Le profil SI.110 est situé au centre d'une dépression à fond presque plat, sans végétation arbustive, bordée par des micro-versants avec quelques effondrements profonds de 0,40 à 0,50 m. La surface de la dépression est parsemée de petits monticules de 3 à 4 cm de haut.

0 à 10 cm : Sous une fine croûte lissée, fendillée, brune, sans efflorescence de carbonates mais avec quelques petits grains calcaires, horizon humifère lessivé, gris foncé : 10 YR 4,5/0 - 2/0 : noir en humide, avec assez nombreuses petites taches linéaires jaune-rouge ; sablo-limoneux ; structure polyédrique subangulaire moyenne à fine localement bien développée ou localement devenant massive ; peu dur à dur ; faiblement poreux avec assez nombreux pores et canaux ; riche en fines racines, non calcaire ; passage tranché et faiblement ondulé à :

10 à 20 cm : Horizon lessivé encore humifère, gris clair : 10 YR 6,5/0 - 3/2 : gris-brun très foncé en humide, avec des zones blanchies en surface des agrégats et quelques taches brun-jaune diffuses au centre des agrégats ; présence de quelques petites concrétions ferrugineuses brunes, arrondies ; sablo-limoneux avec début de ségrégation de texture : fraction limoneuse blanche en surface des agrégats ; massif à tendance polyédrique moyenne ; peu dur ; assez poreux avec pores et canaux plus nombreux ; très riche en fines racines ; non calcaire ; passage distinct légèrement ondulé à :

MORPHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES
D'UN SOLONETZ SOLODISÉ HYDROMORPHE

PROFIL = 51.110 SINGAKO



(voir légende des symboles figure 17)

Figure 16

- 20 à 23 cm : Horizon lessivé et solodisé, gris clair à blanc : 10 YR 6,5/1, c'est la coloration de la surface de chaque agrégat qui est lui-même plus brun en son centre; sablo-limoneux plus riche en argile; structure polyédrique fine à grumeleuse moyenne, ensemble motteux friable à consistance peu dure; faiblement poreux; fin de l'enracinement fin et dense; non calcaire; passage tranché très ondulé à :
- 23 à 45 cm : Horizon d'accumulation d'argile et de sesquioxydes, solodisé à sa partie supérieure; brun-gris : 10 YR 5/2 - 4/2 en humide, gris clair sur les 2 à 3 cm supérieurs puis diffusément taché de jaune-rouge et de revêtements argileux luisants bruns; quelques petites concrétions ferrugineuses; argileux; structure en colonnes de 10 cm de large avec sommet irrégulièrement arrondi; extrêmement dur; compact; enracinement réduit, vertical; non calcaire; passage graduel à :
- 45 à 110 cm : Horizon gris : 10 YR 5/1 - 4/1 en humide, avec quelques taches jaune-rouge diffuses et quelques concrétions ferrugineuses; argileux; prismatique grossier à débit cubique puis en profondeur à plaquettes obliques à faces patinées striées; très dur; compact avec quelques pores tubulaires; enracinement fin réduit; non calcaire; passage distinct et ondulé à :
- 110 à 160 cm : Passage au matériau, brun-gris 2,5 Y 5/2 - 4/2 en humide, plus distinctement taché de gris et de jaune; présence de concrétions ferrugineuses et de nodules calcaires irrégulièrement répartis; argileux; structure en plaquettes obliques bien développée; très dur; compact; non calcaire dans la masse.

Au point de vue morphologique, ce profil se caractérise plus particulièrement par la "solodisation par taches" en A₂ et l'absence d'accumulation diffuse de carbonates en profondeur.

Les principales variations observées dans les profils : SI.45 Gondey, SI.95 Dongo, SI.106 Dongo, SI.74 Singako, SI.112 Gondey, SI.113 Gondey, concernent :

- L'épaisseur des horizons lessivés : ceux-ci peuvent être presque totalement enlevés par érosion (SI.112 Gondey) ; leur épaisseur varie fréquemment entre 10 et 35 cm.
- La morphologie des horizons A₂, soit progressive : SI.74 Singako, SI.112 et 113 Gondey, soit par taches pour les autres profils.
- La structure colonnaire qui peut être plus ou moins développée, sinon de type prismatique : SI.74 Singako.
- La profondeur variable à laquelle se situe l'accumulation diffuse de carbonates.

Les caractéristiques morphologiques essentielles de ces solonetz solodisés hydromorphes sont donc les suivantes :

- Présence d'une croûte superficielle.
- Horizons lessivés de faible épaisseur, de coloration grise, avec des signes d'engorgement : individualisation d'un A₂ plus clair, à texture plus légère et à structure à tendance particulière.
- A la limite entre horizons lessivés et d'accumulation, présence d'une croûte blanchie à porosité vésiculaire recouvrant les sommets et les faces latérales des colonnes sous jacentes.
- Partie supérieure des horizons d'accumulation de coloration brune et présentant une structure colonnaire : elle correspond à l'accumulation des hydroxydes, leur ségrégation et leur immobilisation par concrétionnement ; lui succède l'accumulation d'argile sous forme de revêtements.
- La structure devient polyédrique dans les horizons d'accumulation de carbonates : l'immobilisation de CO₃ Ca se réalisant sous forme de pseudo-mycellium ou de nodules indurés.
- Les phénomènes de carbonatation peuvent se poursuivre dans la zone de passage au matériau qui présente généralement des caractères réduits, des immobilisations d'hydroxydes, et souvent des caractères vertisoliques affirmés.

Caractéristiques analytiques

La texture des horizons lessivés est variable : elle est soit sableuse lorsque l'A₂ est progressif, soit sablo-argileuse dans le cas de solodisation par taches : les teneurs en argile peuvent être alors plus élevées en surface et décroître vers l'A₂ : (SI. 110 Singako) (cf. figure 16). Enfin, la texture de l'horizon de surface est souvent modifiée par des actions biologiques comme celles des vers de terre dont les rejets superficiels déterminent une homogénéisation, sinon un tri textural.

L'augmentation d'argile est brutale dans les horizons d'accumulation mais ce n'est pas le sommet des colonnes qui présente les teneurs maximum en argile : celles-ci se situent souvent sous l'horizon d'accumulation d'hydroxydes, là où les revêtements argileux sont les plus nombreux.

L'accumulation des hydroxydes se réalise bien au sommet des colonnes comme l'indiquent les variations du fer total dans les profils. D'après le rapport fer libre/fer total, la mobilité de cet élément est la plus grande dans les horizons A₂ et son immobilisation débute et est souvent maximum au sommet des horizons B.

Les taux de matières organiques se situent en moyenne vers 1,5 % en surface et l'on note une forte pénétration humifère dans les horizons B : (égale à 80 cm, au tiers des teneurs de surface). Les C/N sont variables entre 10 et 15.

Les variations (cf. figure 16) concernant le complexe absorbant, la saturation et le pH dans le profil apparaissent très significatives et mettent en évidence les processus d'alcalisation et de solodisation de ces solonetz solodisés.

La capacité d'échange varie en relation avec les teneurs en argile mais elle accuse un minimum relativement fort en A₂.

Les horizons lessivés sont désaturés : le degré de saturation généralement de l'ordre de 50 % en surface peut descendre jusqu'à 33 % en A₂ : (SI.45 Gondey). Les pH y sont acides, inférieurs à 6 et le plus souvent de l'ordre de 5,5 : ils sont minima en surface et ne suivent pas le degré de saturation : la forte acidité superficielle est donc en partie d'origine organique. Le sommet des colonnes - siège de l'accumulation d'hydroxydes et du front de solodisation - est légèrement acide. Le pH ne devient neutre qu'en B₂ (accumulation d'argile) puis nettement alcalin (jusqu'à pH 9,0) dans l'horizon d'accumulation de carbonates (B₃ ou BG Ca).

Les taux de sodium échangeable sont faibles dans les horizons lessivés : ils augmentent rapidement dans les horizons d'accumulation où ils représentent de 13 jusqu'à 30 % de la capacité d'échange. Seul le profil SI.110 Singako présente un rapport Na/CE inférieur à 10.

Le magnésium échangeable est toujours en quantités inférieures de plus de moitié à celles de calcium échangeable.

Les teneurs en acide phosphorique et potasse sont très variables suivant la nature des alluvions.

L'instabilité structurale est déjà forte en surface et elle présente des valeurs excessives dans les horizons profonds alcalisés. Les perméabilités sont également très faibles.

Utilisation. Cartographie

Ces sols n'ont aucune utilisation agricole actuelle et ne présentent qu'un faible intérêt pastoral en servant - dans les zones nord seulement - de terrain de parcours au bétail en transhumance.

Dans cette région où les sols exondés ne représentent que de faibles superficies, leur utilisation pourrait néanmoins être envisagée en mettant en œuvre des techniques très strictement adaptées à leurs caractéristiques particulières. Ces techniques - correspondant à une véritable opération de "récupération" de sols telle qu'elle a été tentée au Nord Cameroun - devraient avoir pour but :

- d'augmenter la pénétration de l'eau et son emmagasinement en "ouvrant" assez profondément le sol avant la saison des pluies,
- de modifier les caractéristiques défavorables des horizons supérieurs lessivés acides et des premiers horizons d'accumulation très consistants et alcalisés, en réalisant par labour un mélange de ces horizons avec l'horizon sous jacent riche en carbonates et mieux structuré,
- de favoriser le drainage.

Cette opération ne peut être envisagée que si les horizons lessivés sont peu épais (inférieurs à 15 cm) et si l'accumulation de carbonates est à faible profondeur (inférieurs à 50 cm). Elle ne pourrait non plus intéresser les sols situés en position relativement basse et présentant un gley remontant jusque vers 50 cm de profondeur.

Les solonetz solodisés hydromorphes ont été cartographiés en association avec des vertisols hydromorphes. Topographiquement les situations relatives de ces deux unités peuvent être inverses suivant l'échelle du modelé dans lequel ils sont associés :

- Dans un modelé alluvial composé de bourrelets et de dépressions représentant des portions d'anciens lits (Mya - Salamat), les sols halomorphes occupent les situations hautes exondées - sinon intermédiaires - alors que les vertisols sont localisés dans les dépressions, soumises à une inondation temporaire. La répartition des sols est liée dans ce cas à la répartition des matériaux alluviaux et au régime hydrologique dans ce modelé.
- Dans un autre cas, plus rare, ces deux unités pédologiques sont associées à l'intérieur d'un microrelief gilgai, à l'échelle de quelques mètres. Les solonetz solodisés occupent alors les microdépressions (SI.110 Singako) et les vertisols les sommets (SI.109 Singako). L'étude du passage entre ces deux types de sols - déjà entreprise dans l'est tchadien (G. BOCQUIER - 1964) - permet de préciser certaines relations génétiques ainsi que les conditions particulières à ces deux "micro-pédoclimats".

B - Relations génétiques entre vertisols et solonetz solodisés hydromorphes

La figure 17 précise les positions relatives dans le microrelief gilgai des deux profils étudiés et de leurs horizons respectifs. Le tableau ci-dessous permet la comparaison de leurs principales caractéristiques analytiques :

N° échantillon	SOLONETZ SOLODISÉ SI. 110 SINGAKO				VERTISOL SI. 109 SINGAKO		
	1101	1103	1104	1106	1091	1093	1095
Profondeur cm	0/10	20/23	23/25	130/140	0/4	20/30	130/140
Horizon	A ₁	A ₂₂	B/A (BG Ca)	C	A ₁	A/C	C
Argile %	24	25	51	45	38	48	51
Limon fin %	10	12	10	7	5	4	8
Limon grossier %	15	11	8	6	8	7	7
Sable fin %	25	13	10	11	16	11	11
Sable grossier %	21	35	16	21	27	22	17
Mat. org. %	1,78	0,45	0,45		1,75	0,67	
C/N	14,7	10,4	8,1		14,0	16,1	
Fer libre ‰	11,4	27,0	26,4	25,9	25,1	28,8	24,5
Fer total ‰	21,4	36,8	48,4	46,0	42,0	52,2	48,4
Fer libre/Fer total	0,53	0,73	0,54	0,56	0,59	0,55	0,50
Calcium éch. mé. %	5,5	3,8	10,7	13,0	12,5	13,5	13,4
Magnésium	1,1	0,4	2,0	2,3	2,2	2,2	3,3
Potassium	0,26	0,12	0,28	0,13	0,43	0,30	0,27
Sodium	0,13	0,25	0,75	1,45	0,53	0,57	1,45
Somme B. E.	6,99	3,57	13,73	16,88	15,66	16,57	18,42
C. E.	12,5	7,3	19,8	18,4	17,1	17,0	20,5
pH eau	5,2	5,8	5,7	8,2	7,4	7,8	8,1

L'étude du passage, sur quelques mètres, entre ces deux unités formées sur matériau originel analogue, montre que l'horizon supérieur du vertisol est le siège d'un lessivage et d'une dégradation se traduisant par la formation d'une croûte blanchie, poreuse, recouvrant individuellement les unités structurales. La comparaison des données analytiques de ces deux profils précise, en situation de microdépression, l'évolution suivante des horizons supérieurs. On relève :

- Une décarbonatation profonde jusqu'à 110 cm.
- Une forte diminution du calcium échangeable.
- Un début de migration de l'argile et des sesquioxydes.
- Une forte acidification.
- Une dégradation du complexe absorbant.

Interprétation pédogénétique

Les matériaux originels des deux profils sont analogues tant au point de vue morphologique qu'analytique et présentent des caractères vertisoliques affirmés. Par contre, les différenciations pédologiques sont profondément différentes suivant la situation des deux profils dans le micro-relief. En admettant que l'origine du microrelief soit imputable au vertisol, on doit envisager que le solonetz solodisé se soit différencié à partir d'un vertisol, comme le suggère également l'analogie des matériaux originels à la base des deux profils. Dans de tels microreliefs gilgai, des profils de type vertisol occupent généralement et indifféremment toutes les parties de ce micromodelé. La formation de solonetz solodisés dans les micro-dépressions doit donc être conditionnée par des facteurs particuliers dont l'action se diversifie à l'échelle et en fonction même de ce micromodelé.

Le processus de solodisation nécessitant une concentration de sodium capable d'alcaliser le complexe, il est intéressant de comparer les teneurs en cet élément et leurs variations dans les deux profils voisins (cf. figure 17). En profondeur les teneurs en sodium échangeable sont identiques de part et d'autre : (1,45 mé.). Dans le vertisol (microbutte), de 130 cm environ jusqu'à la surface du sol ces teneurs chutent rapidement vers 70/80 cm à une valeur voisine de 0,55 mé., qui se maintient sensiblement constante jusqu'en surface. Par contre dans le solonetz solodisé (microdépression), la diminution à partir de la base est progressive et à 23 cm de la surface (sommet des colonnes) la teneur en Na est encore de 0,75 mé. Morphologiquement, au point de vue structure et consistance, on n'observe pas de manifestation d'alcalisation dans la partie supérieure du vertisol pour les teneurs en sodium qu'il renferme. Il apparaît par contre que les teneurs plus élevées en sodium, à proximité de la surface du solonetz solodisé puissent être responsables de l'alcalisation (structure diffuse, très forte consistance) et de la solodisation (présence d'A₂ et croûte blanche).

Dans les deux profils, la différence du gradient des teneurs en sodium de la base à la surface des profils, pourrait donc représenter un facteur déterminant de différenciation de ces deux types de pédogénèse. Cette différence de gradient à partir de valeurs en sodium analogues à une certaine profondeur, serait due elle-même au modelé, qui permettrait dans chaque microdépression une plus forte concentration par évaporation, en raison de la plus faible profondeur à laquelle se situe la nappe temporaire dans cette situation.

Quant à l'accumulation généralisée du sodium dans le matériau originel, elle correspondrait - comme l'accumulation conjointe des carbonates - au phénomène général de concentration des produits dissous en bordure des plaines d'inondation saisonnière. Ces profils se situent en effet sur la bordure et en légère surélévation de la vaste plaine inondée du Salamat.

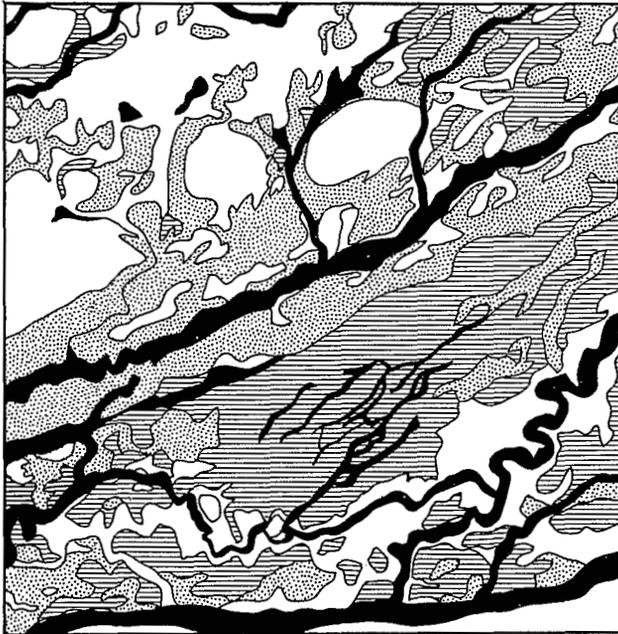
Dans cette hypothèse, ce seraient donc les facteurs topographiques à l'échelle géomorphologique et à l'échelle du microrelief gilgai qui, en liaison avec un régime hydrologique particulier, seraient à l'origine de cette profonde modification de pédogénèse.

VI - LES SOLS HYDROMORPHES

Ces sols dont l'évolution est dominée par la présence dans le profil d'un excès d'eau, au moins à certaines périodes, sont les mieux représentés dans cette feuille Singako puisqu'ils occupent près de 55 % de la superficie totale de la carte.

Ils correspondent aux très vastes plaines alluviales soumises à une inondation périodique ainsi qu'à la bordure de ces plaines où fluctue à faible profondeur une nappe temporaire.

SOLS HYDROMORPHES



-  Sols hydromorphes à gley et pseudogley
-  Sols hydromorphes à gley d'ensemble
-  Complexes alluviaux avec divers sols hydromorphes

Figure 18

En relation avec le modelé alluvial et le régime hydrologique, on peut distinguer trois principaux types d'hydromorphie dans ces plaines : (cf. Fig. 19) :

- A leur bordure - non soumise à l'inondation - les sols ont des possibilités de drainage externe mais en profondeur ils sont soumis aux fluctuations d'une nappe temporaire. Ce sont des sols à hydromorphie

RÉPARTITION SCHEMATIQUE DES CONDITIONS D'HYDROMORPHIE DANS LES PLAINES ALLUVIALES

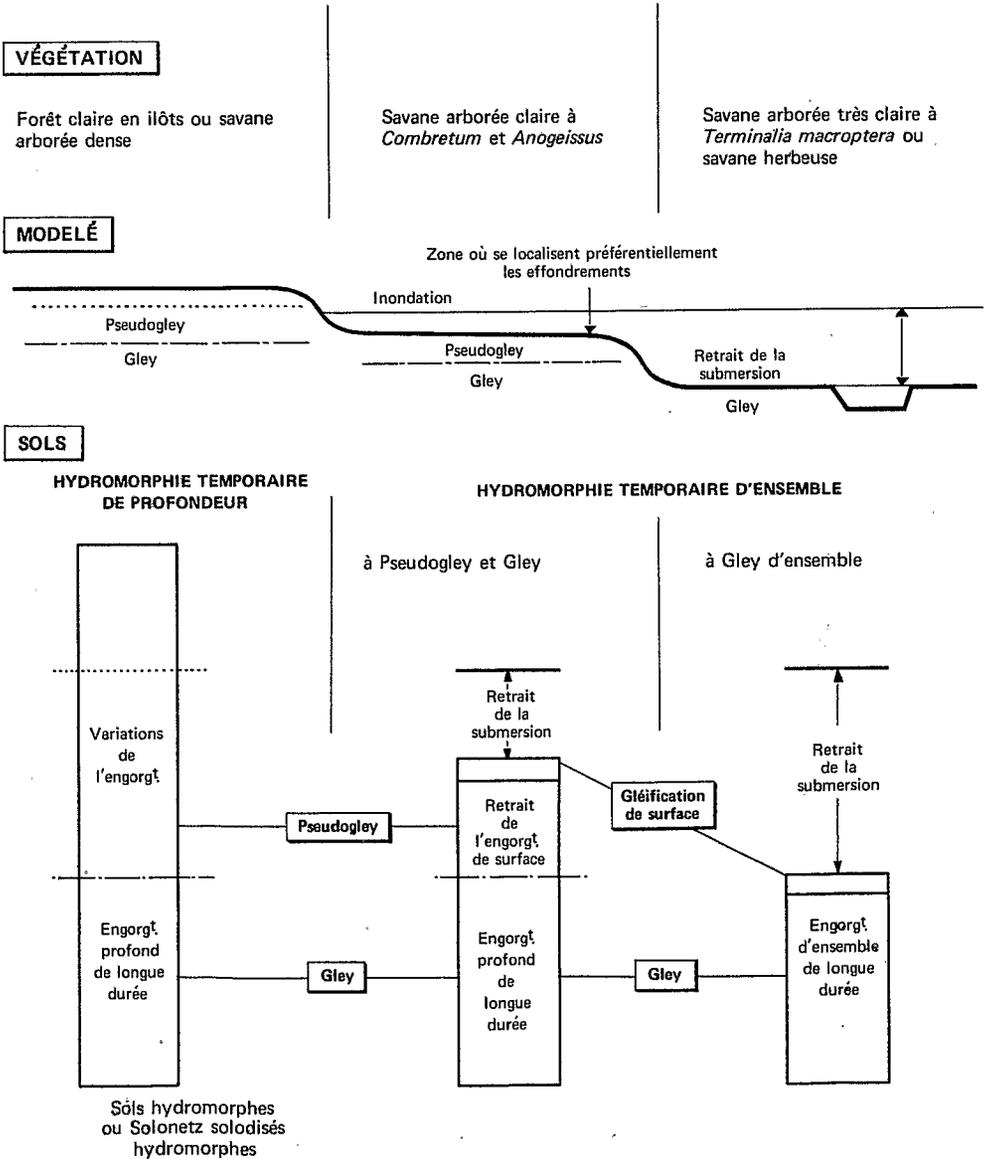


Figure 19

temporaire de profondeur. La formation végétale qui les recouvre est une savane arborée dense à légumineuses sinon une forêt claire en flots lorsque les sols sont marqués par les processus d'halomorphie.

- Dans les plaines soumises à une inondation, l'existence de deux niveaux topographiques (à très faible dénivellée de l'ordre de 0,5 à 1,50 m), crée une différence importante dans les conditions d'hydromorphie :

• En effet, dans les parties hautes, au retrait de la submersion correspond non seulement le départ des eaux de surface mais également un drainage de la partie supérieurs des profils alors que leur base conserve plus longtemps des conditions d'engorgement. Le drainage latéral qui détermine la disparition de l'engorgement de surface est également responsable de la formation des chenaux souterrains et des effondrements apparaissant à la surface de ces sols. Ce régime hydrique particulier est traduit dans les profils par la différenciation superposée des horizons suivants :

- en surface, un horizon de gley peu épais, dû à la submersion et lié à la matière organique à décomposition lente,
- un ou plusieurs horizons intermédiaires à pseudo-gley, correspondant à l'assèchement et l'oxydation de la partie supérieure du profil,
- un gley de profondeur, correspondant au maintien de conditions asphyxiantes et réductrices.

Il s'agit dans ce cas d'une hydromorphie temporaire d'ensemble à pseudo-gley et gley. La formation végétale caractéristique de ces sols est une savane arborée claire à *Combretum* et *Anogeissus*.

• Dans les plaines basses, après le retrait des eaux de submersion, subsiste un engorgement d'ensemble du sol qui cause une gleyification totale du profil : l'hydromorphie est temporaire d'ensemble à gley. La formation végétale caractéristique de ces sols est une savane arborée très claire à *Terminalia macroptera* ou une savane herbeuse à Andropogonées.

Les caractéristiques morphologiques résultant de ces différentes conditions d'hydromorphie traduisent des modifications apportées à :

- La décomposition de la matière organique qui peut s'accumuler en surface, migrer variablement dans le profil et avoir un rôle favorable ou non dans l'agrégation.

- La dynamique de certains éléments et en particulier des hydroxydes. Suivant les types d'engorgement, l'intensité et la durée variable des conditions de réduction et d'oxydation auxquelles sont soumises certaines parties du sol, provoquent la formation de deux types principaux d'horizons :

- l'horizon de gley, correspondant à un engorgement relativement prolongé et à la dominance des phénomènes de réduction du fer. Les teintes grises dominent par rapport aux zones colorées peu étendues et localisées d'oxydation,
- l'horizon de pseudo-gley, correspondant à un engorgement périodique où se produit une alternance des phénomènes de réduction et d'oxydation, accompagnée d'une redistribution localisée des hydroxydes : l'horizon présente un bariolage de teintes vives et grises : la teinte dominante n'est plus grise.

Par ailleurs, la submersion temporaire détermine généralement la formation d'un horizon gleyifié superficiel, qui se différencie aussi bien au-dessus d'un gley que d'un pseudo-gley. Alors que le gley de profondeur peut se former sans l'intervention de matière organique, ce gley de surface résulterait plutôt de l'action de produits organiques solubles provenant de l'humus à décomposition lente et souvent acide, et solubilisant le fer à l'état de complexe ferreux. Après l'assèchement, ces complexes demeurent à l'état réduit et l'oxydation n'intéresse que l'intérieur de certains canaux et pores racinaires ("taches linéaires rouge-jaune" dans le gley de surface).

Les ségrégations d'hydroxydes ("taches") et les concrétions se répartissent dans le profil de différentes manières, en relation avec le type et les variations de l'engorgement. On observe ainsi très généralement la "séquence" suivante dans les sols à pseudo-gley et gley :

- Gley de surface : ségrégations fines et assez nombreuses, de forme linéaire (pores racinaires), rouge-jaune.
- Pseudo-gley : ségrégations moyennes, nombreuses, diffuses, jaune-rouge, avec (généralement à la base de l'horizon) d'assez nombreuses concrétions indurées auréolées de taches rouge-jaune.
- Gley : ségrégations fines, distinctes, assez nombreuses ou rares, rouges à rouge-jaune, avec quelques petites concrétions. En profondeur, assez nombreuses ségrégations moyennes diffuses, jaunes.

Le concrétionnement peut être généralisé irrégulièrement dans le profil, mais il semble se localiser préférentiellement au-dessus de la zone où l'engorgement est le plus intense et de plus longue durée.

- La dynamique de certains éléments solubles comme les carbonates : Aucune accumulation diffuse de carbonates n'a été observée dans ces sols hydromorphes, alors qu'elle est caractéristique de certains horizons de vertisols ou de sols halomorphes. Par contre des phénomènes de nodulation calcaire sont fréquemment notés en profondeur : ils paraissent liés à la nature du matériau alluvial, et à la situation dans le modelé. Mais très généralement les sols hydromorphes sont dépourvus de carbonates sur une grande épaisseur du profil.

- La structure : Elle est souvent très faiblement développée en surface (massive) en raison de l'insuffisance ou de la dispersion des ciments humiques ; avec la dominance des textures argileuses, la structure est généralement grossière en profondeur, de type prismatique à débit cubique ou en plaquettes obliques souvent bien développées.

Certains de ces caractères morphologiques propres aux sols hydromorphes ont déjà été reconnus dans les autres classes de sols étudiées. L'hydromorphie n'était alors considérée que comme un processus secondaire de différenciation. On observe cependant de nombreux termes de passage paraissant résulter de l'action de plusieurs processus et pour lesquels il est difficile de préciser le processus prépondérant.

Les principaux termes de passages observés intéressent les classes de sols suivantes :

- Vertisols. Il a déjà été noté que la plupart des vertisols de cette région présentent d'une manière constante certains caractères de sols hydromorphes. Il a été admis dans ce cas que le critère distinctif principal des sols hydromorphes pourrait être la nette individualisation de plusieurs horizons, même en présence de caractères vertisoliques bien exprimés comme la structure en plaquettes obliques.
- Sols ferrugineux tropicaux lessivés. Plusieurs profils intermédiaires ont été observés entre les sols ferrugineux tropicaux lessivés à pseudo-gley et les sols hydromorphes lessivés à pseudo-gley ou à gley. Il a été admis que dans les sols ferrugineux, les traces d'engorgement sous forme de ségrégations devaient débiter à la base des horizons lessivés. Lorsque ces traces d'engorgement intéressent la plus grande partie des horizons lessivés et en particulier sous forme de concrétions, le profil est considéré comme de type hydromorphe : certaines données analytiques précisant l'acidification superficielle et l'immobilisation du fer, confirmeraient cette distinction. Par ailleurs, dans les sols hydromorphes considérés comme "lessivés" - hormis la variation texturale qui peut également correspondre à des variations dans l'alluvionnement - il apparaît souvent difficile de mettre morphologiquement en évidence le processus de lessivage. Certains profils pourraient être interprétés dans ce cas comme résultant de l'établissement de conditions d'engorgement dans des profils déjà différenciés en sols ferrugineux tropicaux lessivés.
- Sols halomorphes lessivés : Les solonetz solodisés hydromorphes accusent des caractères affirmés d'hydromorphie, souvent jusqu'en surface : la solodisation en A₂ et la nette accumulation d'hydroxydes et d'argile dans un horizon B colonnaire permettent cependant de toujours les définir comme des sols halomorphes lessivés. On observe néanmoins dans quelques profils hydromorphes avec nodulation calcaire en profondeur, certains caractères de lessivage intense et une localisation des ségrégations et des concrétions dans un B prismatique, qui présentent des analogies avec la morphologie des sols halomorphes lessivés.

Parmi ces trois tendances évolutives, les deux dernières seront évoquées dans la présentation des profils suivants et l'accent sera plutôt mis sur la caractérisation des deux principaux types de sols hydromorphes de cette région : les sols à engorgement d'ensemble à pseudo-gley et gley et ceux à gley d'ensemble :

A - SOLS A HYDROMORPHIE TEMPORAIRE DE PROFONDEUR. Généralement lessivés, à gley de profondeur. (Passage aux sols ferrugineux tropicaux lessivés à pseudo-gley) : Profils : SI. 48 Gondey, SI. 25 Yanga.

B - SOLS A HYDROMORPHIE TEMPORAIRE D'ENSEMBLE

1 - A pseudo-gley et gley :

- sans phénomènes de carbonatation : Profils : SI. 75 Singako, SI. 17 Singako, SI. 13 Yanga.

- avec phénomènes de carbonatation et généralement sur alluvions complexes : Profils : SI. 11 Koutou Géré, SI. 47 Gondey, SI. 101, 102 Dongo.

2 - A gley d'ensemble : Profils : SI. 12 Yanga, SI. 18 Singako, SI. 72, 73 Singako, SI. 63 Gondey.

A - Les sols à hydromorphie temporaire de profondeur

Ils se situent entre les zones inondées et exondées et suivant la profondeur de la nappe, ils ont une utilisation analogue à celle des sols ferrugineux tropicaux lessivés à pseudo-gley.

Au point de vue morphologique ils sont caractérisés par :

- Un horizon superficiel sans traces d'engorgement.
- Des horizons à caractères lessivés, évoluant périodiquement sous l'action d'une nappe et présentant des ségrégations sinon un concrétionnement irrégulier.
- Des horizons inférieurs enrichis en argile, dans lesquels l'accumulation en argile ne peut être morphologiquement mise en évidence. Ces horizons sont généralement gleyifiés et la nappe peut y être observée toute l'année dans certains cas : (SI. 25 Yanga). Les structures grossières de type prismatique sont fréquentes dans les horizons.

Ces sols présentent par ailleurs une coloration généralement grise à brun-gris et sont marqués par une forte activité biologique en surface, due principalement à l'action des vers de terre. Cette activité qui se manifeste par la présence de nombreux rejets à la surface du sol, a pour conséquence principale une modification de la texture des horizons supérieurs : celle-ci est très nettement homogénéisée sur une épaisseur variable et dans le cas du profil SI. 25 Yanga, accuse une légère accumulation relative de limon et sables fins :

SI. 25 YANGA

	Rejets en surface	251	252	253	254	255
		0 à 9 cm	15 à 25 cm	30 à 40 cm	60 à 70 cm	110 à 120 cm
Argile %	6	7	6	12	34	29
Limon fin	5	5	6	6	1	3
Limon grossier	8	5	5	5	4	4
Sable fin	23	22	22	17	12	12
Sable grossier	55	60	60	59	44	50
Matière organique	1,66	1,92	0,38	0,24	0,43	

Au point de vue analytique, outre les variations texturales, les caractéristiques essentielles de ces sols sont leur acidification superficielle, la mauvaise décomposition de la matière organique et l'immobilisation des hydroxydes.

Ainsi, par leurs caractères lessivés et la prédominance des actions d'engorgement, ces sols hydromorphes peuvent être considérés comme des termes de passage avec les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Certains pourraient d'ailleurs être considérés comme des sols ferrugineux tropicaux lessivés à gley de profondeur.

Cartographiquement, cette unité pédologique n'a pu être individualisée: ne présentant généralement au pied des Koros qu'une étroite bande faisant suite à celle des sols ferrugineux lessivés, elle a été regroupée avec cette dernière du fait de l'utilisation agricole analogue de ces deux catégories de sols.

B- Les sols à hydromorphie temporaire d'ensemble

Cette unité regroupe l'ensemble des sols subissant une inondation périodique par débordement fluvial. Comme on l'a déjà noté dans la première partie, la saturation en eau de ces sols est pour la plus grande part d'origine pluviale, et la submersion d'origine fluviale ne se produit qu'après cette saturation. L'engorgement d'ensemble et l'établissement d'une lame d'eau superficielle semblent se réaliser d'une manière analogue et sensiblement à la même époque pour tous les sols de ces plaines inondées. Par contre, lors de la décrue et de l'assèchement des sols, le faible modelé de ces plaines interviendrait alors d'une manière décisive pour régler la durée et la profondeur à laquelle se maintiendrait l'engorgement : dans les zones basses, il intéresse la totalité du profil et provoque la formation d'un gley d'ensemble; dans les zones plus hautes, il se limite à la base du profil et dans la partie supérieure où le drainage devient possible, il se forme un pseudo-gley.

Il est certain que localement la distinction entre pseudo-gley et gley est parfois délicate à définir dans certains termes de passage. Cependant, le fait qu'à ces deux types d'hydromorphie correspondent deux formations végétales particulières et facilement identifiables sur le terrain et sur photo aérienne, souligne la nécessité de maintenir cette distinction dans la caractérisation et la cartographie pédologique.

1 - LES SOLS A PSEUDO-GLEY ET GLEY

Ils représentent l'unité pédologique ayant la plus grande extension dans cette feuille Singako avec près de 30 % de la superficie totale. Les zones qu'ils occupent sont inondées, généralement non cultivées, et recouvertes par une savane arborée claire à *Combretum* et *Anogeissus*.

Deux catégories principales de sols peuvent être définies, dans cette unité d'après la présence ou non de phénomènes de carbonatation en profondeur : ces phénomènes sont en fait peu fréquents et liés à un type de matériau alluvial dans une certaine position topographique.

- a) Les sols à pseudo-gley et gley sans carbonatation : Profils :
SI.75 Singako, SI.71 Singako, SI.13 Yanga

Morphologie

Profil : SI.13 Yanga (11/2/1964)

- Localisé à 10,5 km N.-E. de Yanga, dans une plaine d'inondation du bassin de la Minia.
- Alluvion argileuse à sables grossiers.
- Savane arborée claire à *Anogeissus leiocarpus*, *Bauhinia reticulata*, *Gardenia*..

Surface : Plane avec de très faibles dépressions à effondrements peu nombreux et sans chenaux souterrains. Les flots, peu élevés, formés par de grandes termitières sont bordés d'une auréole de quelques mètres de largeur où les rejets de vers de terre sont très abondants ; quelques plages avec des gravillons ferrugineux en surface :

0 à 4 cm : Horizon humifère, à gley, gris à gris foncé : 10 YR 5/1 - 3,5/1 en humide, avec assez nombreuses petites taches linéaires rouge-jaune : 5 YR 5/8, nettes et distinctes, localisées dans des passages de racines ; sableux à sablo-argileux ; massif à débit à tendance lamellaire ; dur ; compact ; avec des pores racinaires ; enracinement fin assez dense ; passage distinct et régulier à :

4 à 16 cm : Horizon encore humifère, à pseudo-gley, gris brun clair : 10 YR 6/2 - 5/2 en humide, très intensément taché de jaune-rouge : 7,5 YR 6/8 et avec quelques veines brunes ; argilo-sableux ; structure polyédrique fine et moyenne, moyennement développée ; peu dur ; faiblement et assez poreux ; enracinement fin encore important ; passage distinct et régulier à :

16 à 50 cm : Horizon à pseudo-gley, gris légèrement brun : 10 YR 6/1, 5 - 5/1, 5 en humide, avec très nombreuses taches moyennes rouge-jaune : 5 YR 4/8, avec des noyaux plus cimentés et de véritables concrétions ferrugineuses brun vif, arrondies, de 2 à 5 mm de diamètre, bien cimentées ; argileux à sables grossiers ; structure polyédrique fine et moyenne, moyennement développée, en assemblage prismatique ; peu dur avec certains agrégats durs ; faiblement poreux avec de gros pores tubulaires ; enracinement fin bien développé à tendance verticale dans les fentes ; passage graduel et régulier à :

50 à 75 cm : Horizon de gley, gris clair : 2,5 Y 7/2 - 6/2 en humide avec assez nombreuses taches moyennes, rouges : 2,5 YR 4/8, et des concrétions analogues mais de plus grande taille (supérieure à 1 cm) ; argileux à sables grossiers ; structure polyédrique fine assez bien développée en assemblage compact dans un réseau prismatique peu marqué ; peu dur ; faiblement poreux ; nombreuses racines fines bien réparties ; passage graduel et régulier au :

75 à 130 cm : Matériau argileux à sables grossiers, gleyifié, gris (blanc) : 10 YR 7/1 - 6/1 en humide, avec assez nombreuses petites taches brun-jaune (: 10 YR 5/8), quelques fines taches rouge (vif) (: 10 R 4/8) et quelques concrétions ; structure polyédrique plus grossière en assemblage plus compact ; dur à très dur ; compact.

Profil non calcaire.

Ce profil se caractérise morphologiquement par :

- La succession : gley de surface, pseudo-gley, gley, soulignée par la succession de trois couleurs d'ensemble : grise, jaune-rouge, grise..
- Une séquence de coloration des ségrégations : rouge-jaune, jaune-rouge, rouge.
- Une pénétration humifère par traînées dans le pseudo-gley.
- Des structures de type différent : massive dans le gley de surface, polyédrique dans le pseudo-gley, assemblage prismatique dans le gley.
- Une consistance différente dans les trois principaux horizons : dur dans le gley de surface, peu dur dans le pseudo-gley, dur à très dur dans le gley.
- Le concrétionnement ferrugineux localisé de préférence à la base du pseudo-gley.

Variations morphologiques

Elles sont principalement liées à la texture qui peut être plus argileuse et plus homogène que dans le profil SI. 13 Singako. La structure est alors plus affirmée, toujours de type polyédrique dans le pseudo-gley,

mais prismatique bien développé dans le gley et pouvant passer en profondeur à la structure en plaquettes obliques : SI. 75 Singako. Ce dernier profil, hormis la différenciation très nette des trois horizons caractéristiques, se rapproche des vertisols hydromorphes et présente d'ailleurs un léger modelé gilgai superficiel.

Le caractère morphologique essentiel de ces profils est la présence d'un horizon à pseudo-gley constamment caractérisé par une structure polyédrique à faible consistance. Cet horizon représente la partie du profil susceptible d'aération et d'oxydation après la disparition de l'engorgement de surface. Par sa "friabilité" et sa perméabilité d'ensemble s'opposant à celles des horizons de gley, il facilite les circulations d'eau latérales qui provoquent la formation de chenaux souterrains et d'effondrements en surface. Il peut facilement disparaître sous l'effet d'un ruissellement en nappe ne laissant alors subsister en surface du sol érodé que les concrétions ferrugineuses qu'il renfermait.

Caractéristiques analytiques

Les textures du matériau et des horizons profonds sont toujours argileuses, mais on observe fréquemment une texture plus sableuse en surface : celle-ci peut être en partie liée à l'action des vers de terre qui, comme pour le profil SI. 25 Yanga, homogénéisent la texture des horizons supérieurs avec, vers la surface, une légère augmentation relative du limon et des sables fins : la fraction sableuse grossière est en effet de même nature sur l'ensemble du profil mais ce "tri biologique", réalisant la concentration relative de cette fraction grossière à la base de la zone d'activité, peut ainsi simuler une discontinuité texturale.

SI. 13 SINGAKO

	Rejets de surface	131	132	133	134	135
		0 à 4 cm	4 à 15 cm	30 à 40 cm	60 à 70 cm	100 à 110 cm
Argile %	16	15	22	46	58	55
Limon fin	7	5	3	2	2	4
Limon grossier	9	6	4	2	2	4
Sable fin	21	19	11	7	7	9
Sable grossier	44	53	57	39	30	25
Matière organique %	1,9	1,3	0,85	0,52	0,40	
C/N	11,6	13,3	10,6	6,9	6,7	
Fer libre/fer total		0,66	0,66	0,54	0,51	0,61
Sodium échangeable mé.	0,17	0,23	0,20	0,25	0,39	0,55
Somme des bases éch.	4,4	3,6	2,9	6,4	5,9	4,7
Capacité d'échange	10,0	6,6	6,3	11,0	15,2	11,9
pH	5,9	6,2	5,1	5,0	5,2	5,5

Les teneurs en matière organique sont peu élevées, inférieures à 2% et les C/N voisins de 13 sont relativement bas pour un sol hydromorphe. Cette matière organique pénètre profondément dans le profil.

La capacité d'échange du complexe est faible, soulignant la nature kaolinique de la fraction argileuse et la faiblesse du stock organique. La saturation est de l'ordre de 50 % en surface avec un pH voisin de 6 ; elle s'abaisse rapidement dans le pseudo-gley avec un pH qui peut atteindre 5,0 et augmente variablement dans le gley où les pH sont compris entre 6 et 6,5. On note une augmentation régulière et constante du sodium échangeable avec la profondeur : les teneurs atteintes dans le gley demeurent faibles : 0,3 à 0,5 mé., mais elles sont néanmoins égales au double de celles de surface, et pourraient jouer un rôle dans la diminution de la perméabilité et de la stabilité structurale du gley.

La mobilité du fer est faible : elle serait relativement la plus forte en surface et au sommet du pseudo-gley.

Les teneurs en potasse sont moyennes à médiocres et ces sols apparaissent carencés en acide phosphorique.

Extension. Cartographie. Utilisation

Représentant environ 28 % de la superficie de la carte, ces sols à pseudo-gley et gley bordent la vallée du Bahr Keïta ainsi que les différents Koros ; ils font suite topographiquement aux sols ferrugineux tropicaux lessivés mal drainés et dominent très légèrement les sols hydromorphes à gley. Lors de la reconnaissance sur le terrain ils n'ont pas été relevés sur la totalité de leur extension, mais la prospection aérienne et la photo-interprétation se basant sur la physionomie particulière de leur végétation, ont permis leur cartographie d'une manière suffisamment précise et sûre.

Leur utilisation actuelle est presque inexistante : ils ne peuvent être, en effet, utilisés pour des cultures de décrue en raison de leur assèchement trop tardif et les fortes variations difficilement contrôlables de la submersion limitent la riziculture. Pourtant leur vocation rizicole est indéniable, mais les caractéristiques de la submersion (hauteur - durée) sont actuellement trop mal connues pour envisager un développement rapide de cette culture.

b) Les sols à pseudo-gley et gley avec phénomènes de carbonatation

Ils n'intéressent que de faibles surfaces et ils sont localisés en bordure des zones inondées et généralement à proximité des vertisols. Leur matériau originel, en profondeur, est d'ailleurs analogue à celui des vertisols et se trouve également affecté par des phénomènes de carbonatation sous forme de nodules indurés. La texture des horizons supérieurs - parfois sur 100 cm - est cependant sableuse à sablo-argileuse et dans certains cas, il n'a pas été possible de préciser si cette variation texturale correspondait à une différenciation par lessivage et solodisation, ou bien à une superposition de matériaux alluviaux ; les actions biologiques - fréquentes dans ces profils - pouvant elles-mêmes déterminer d'importantes modifications texturales.

Parmi les profils étudiés : SI. 11 Koutou-Géré, SI. 47 Gondey, SI. 101, 102, 103 Gondo, on peut distinguer les trois types de différenciation suivants (se reporter aux dossiers de caractérisation en annexe) :

- Les profils SI. 11 Koutou-Géré et SI. 101 Dongo sont différenciés dans un matériau homogène en trois horizons principaux correspondant à un gley de surface, un pseudo-gley, et un gley de profondeur avec nodulation calcaire. Il n'y a pas de phénomènes de lessivage et l'horizon de pseudo-gley n'est pas structuré. Analytiquement on remarque une augmentation du sodium échangeable en profondeur et une forte variation du pH de 5,3 en surface à 8,1 en profondeur.
- Le profil SI. 47 Gondey, différencié dans un matériau homogène, présente incontestablement des horizons supérieurs lessivés à pseudo-gley ; la migration d'argile se manifeste d'ailleurs par des revêtements argileux dans le B à structure prismatique. L'engorgement correspondrait peut-être dans ce cas à une forte variation d'une nappe profonde plutôt qu'à un engorgement d'ensemble. La variation texturale est tranchée au contact des horizons lessivés et d'accumulation ; mais l'analyse effectuée sur les rejets de vers de terre et l'examen de la fraction sableuse grossière permettraient d'interpréter cette variation texturale comme due au lessivage et à ces actions biologiques. La différenciation des horizons lessivés est comparable à celle d'un solonetz solodisé hydromorphe, notamment ce début de "solodisation par taches", mais les teneurs en sodium - bien qu'augmentant en profondeur - paraissent trop faibles pour déterminer une solodisation. Les pH diminuent depuis la surface jusqu'à l'A₂ (6,3 à 5,2), demeurent acides dans la partie supérieure du B (5,6) et augmentent jusqu'à 8,1 en profondeur. Ce profil est interprété comme étant "lessivé à gley" et pouvant représenter un terme de passage aux sols halomorphes lessivés.

Les profils SI. 102, 103 Dongo sont interprétés d'une manière analogue, mais il est admis que leur matériau originel puisse être complexe. Les variations texturales sont en effet plus tranchées et différentes de celles du profil SI. 47 Gondey : la succession des textures est la suivante : A₁ : sablo-limoneux, A₂ : sableux à sables grossiers, B : argilo-sableux. Les revêtements argileux sont absents et aucune accumulation de sodium échangeable n'est observée en profondeur.

- Le profil SI. 69 Singako est différencié incontestablement dans une alluvion complexe présentant une superposition de matériaux à texture différente. A la superposition de textures, argilo-sableuse, sableuse et argileuse, est liée la succession d'horizons à gley et pseudo-gley, ce qui correspond en fait à un caractère de sol peu évolué mal drainé.

2 - LES SOLS A GLEY D'ENSEMBLE. Profils SI. 12 Yanga, SI. 18 Singako, SI. 72, 73 Singako, SI. 63 Gondey

Ils représentent 25 % environ de la superficie de la carte et sont principalement localisés dans les vastes plaines basses situées entre le Bahr Keïta et le Bahr Aouk. Ils correspondent à la plus longue durée de l'inondation et de l'engorgement d'ensemble.

SOL HYDROMORPHE A GLEY D'ENSEMBLE

Des plaines basses d'inondation. (SI.12 YANGA).

En-dessous de 12 cm ; structure prismatique grossière fortement développée avec sous-structure en plaquettes obliques



Figure 20

Les matériaux originels présentent des textures généralement plus argileuses que celles des sols à pseudo-gley mais on peut également observer des sols à gley sur matériaux sableux. Dans les profils, les variations texturales sont moins intenses et fréquentes que dans les sols à pseudo-gley. L'activité des vers de terre y est plus réduite. Les sols à gley d'ensemble peuvent également présenter des effondrements de surface, mais ceux-ci sont moins abondants et ils sont localisés de préférence au voisinage des axes de drainage.

Morphologie (cf. Fig. 20)

Profil : SI.12 Yanga (11/2/1964)

- Localisé à 4,5 km N.-E. de Yanga dans une plaine basse (en contrebas du profil SI.13 Yanga à pseudo-gley).
- Alluvion argileuse.
- Savane arborée très clairsemée à *Terminalia macroptera*, avec quelques flots arborés.

Surface : Relativement plane avec des dépressions (de 50 cm de profondeur, et 5 à 6 m de diamètre) en bordure desquelles sont localisés des effondrements à bords francs, généralement reliés par des chenaux souterrains. Les zones planes séparant les dépressions peuvent présenter à leur surface des gravillons ferrugineux. Présence régulière de touradons. Les flots arborés installés sur des buttes dues à de grandes termitières, dominant la plaine d'environ 50 cm en moyenne. Présence d'une fine croûte litée sablo-argileuse, en surface.

0 à 4 cm : Horizon humifère à gley, gris à gris foncé (légèrement bleuté) : 10 YR 5/1 - 3/1 en humide, avec assez nombreuses petites taches linéaires rouge-jaune : 5 YR 5/8, nettes, distinctes, localisées dans des passages de racines ; présence de quelques concrétions ferrugineuses arrondies (5 mm), très cimentées, à patine brun vif ; sablo-argileux ; structure massive à tendance polyédrique moyenne ; dur ; compact avec des pores racinaires ; chevelu racinaire graminéen dense sous les touradons ; passage distinct et régulier à :

4 à 12 cm : Horizon encore humifère, gris-brun clair : 10 YR 6/2 - 5/2 en humide, avec nombreuses taches moyennes jaune-rouge, linéaires puis diffuses, et avec quelques veines verticales brunes ; présence des mêmes concrétions ; argileux à sables grossiers ; structure polyédrique moyenne et fine, moyennement développée ; peu dur ; faiblement poreux ; très riche en racines et radicules ; passage distinct mais légèrement irrégulier à :

12 à 80 cm : Horizon de gley gris clair : 5 YR 6/1 - 5/1 en humide, avec nombreuses taches moyennes rouges : 2,5 YR 5/8, assez nombreuses concrétions irrégulièrement localisées, et revêtements bruns sur les faces verticales des fentes; argileux à sables grossiers; structure prismatique grossière fortement développée avec sous-structure en plaquettes obliques bien exprimée, avec des faces patinées et cannelées; très dur; compact; enracinement vertical le long des fentes; passage graduel et régulier au :

80 à 130 cm : Matériau argileux, gleyifié, gris : 5 YR 5/1 avec nombreuses grandes taches diffuses jaune-rouge : 7,5 YR 6/8; structure prismatique plus grossière mais moins bien développée.

Profil non calcaire.

Ce profil se caractérise par :

- Un gley d'ensemble marqué par une coloration dominante grise avec une teinte bleutée notamment en surface.
- Une pénétration humifère profonde et irrégulière.
- Une séquence de couleur des ségrégations et la présence de concrétions ferrugineuses jusqu'en surface.
- Un début de structure fine sous le gley de surface, mais la structure est grossière en profondeur avec une forte consistance : les structures de type prismatique dominant, avec sous-structure en plaquettes obliques (cf. Fig. 20).
- Une porosité très réduite.

Les principales variations observées concernent :

- La structure qui peut être fine et même à tendance grumeleuse en surface, en présence d'une accumulation de matières organiques : SI. 72 et 18 Singako. Sous le gley de surface, la structure est le plus souvent immédiatement de type prismatique.
- La différenciation du gley qui peut être faible sous l'horizon de surface : SI. 63 Gondey. Des caractères de pseudo-gley peuvent alors apparaître liés à un début de structure fine. Ces profils correspondent généralement aux zones où apparaissent les effondrements et dans ce cas, ils se rapprochent morphologiquement des sols à pseudo-gley.

Caractéristiques analytiques

Mis à part le profil SI. 72 Singako différencié sur alluvion sableuse, les textures sont argilo-sableuses à argileuses et les variations texturales dans le profil sont moins intenses et fréquentes que celles de sols à pseudo-gley.

Ces sols à gley d'ensemble présentent une accumulation superficielle de matières organiques avec des teneurs atteignant 3 % et un C/N toujours légèrement supérieur à 15.

Le complexe absorbant, malgré les fortes teneurs en argile, a une capacité d'échange peu importante. Il est le plus désaturé en surface avec des pH souvent voisins de 5,5, et la saturation augmente progressivement avec la profondeur où s'observent quelques pH alcalins. Les teneurs en sodium échangeable sont toujours relativement plus élevées à la base des profils, sans dépasser cependant des valeurs supérieures à 0,4 mé. représentant moins de 3 % de la capacité d'échange. Les rapports Ca/Mg sont élevés, généralement supérieurs à 3.

La mobilité du fer est faible dans tous les profils : c'est en surface qu'elle est relativement la plus forte : (fer libre/fer total : 0,7).

Les teneurs en potasse échangeable sont moyennes à médiocres et les réserves en acide phosphorique paraissent très variables d'un profil à l'autre.

Extension. Utilisation

Les très vastes surfaces occupées par ces sols à gley sont totalement inexploitées et difficilement accessibles. La faune sauvage y est elle-même très réduite, se localisant de préférence dans les anciens bourrelets alluviaux du système de l'Aouk.

La seule possibilité d'utilisation de ces sols est la riziculture, mais le contrôle des eaux, indispensable pour ce type d'exploitation, apparaît plus difficile à obtenir que pour les sols à pseudo-gley moins sujets aux fortes variations de la submersion.

*

* *



Troisième Partie

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

CONCLUSIONS

SUR LES PROCESSUS PÉDOGÉNÉTIQUES

L'étude monographique des sols de la feuille Singako a montré l'existence de cinq grands types de pédogénèse, définissant les :

- Vertisols hydromorphes. (10 % de la superficie).
- Sols ferrugineux tropicaux lessivés à drainage interne limité. (10%).
- Sols faiblement ferrallitiques. (5 %).
- Sols halomorphes lessivés, hydromorphes. (12 %).
- Sols hydromorphes minéraux. (63 %).

Parmi ces cinq types de différenciation pédologique, un seul : celui des sols faiblement ferrallitiques (5 %) correspond à des conditions de drainage interne normal. Dans les quatre autres types, les processus d'hydromorphie sont déterminants et sont considérés comme :

- Facteur principal de différenciation pour les sols hydromorphes et les vertisols hydromorphes (correspondant sensiblement aux sols périodiquement inondés : 73 %).
- Facteur secondaire pour les sols halomorphes lessivés hydromorphes et les sols ferrugineux tropicaux lessivés (localisés topographiquement dans la zone intermédiaire entre sols ferrallitiques et sols hydromorphes : 22 %).

Une telle prédominance des actions d'hydromorphie sur d'aussi vastes surfaces (12 000 km²) correspond aux conditions régionales très particulières, définies par un modelé extrêmement plat (d'origine fluviolacustre) et un régime hydrologique exceptionnel. Ce sont ces deux facteurs : modelé et régime hydrologique, qui régissent la diversification et la répartition des sols de cette région.

Le climat n'en demeure pas moins le facteur fondamental commun à tous ces types de sols auxquels il confère des caractères "tropicaux" dus au processus général d'individualisation des sesquioxides. Au climat actuel correspond une libération des sesquioxides par une hydrolyse partielle des minéraux, définissant la formation des sols ferrugineux tropicaux. Un climat ancien, plus humide, est responsable d'hydrolyses plus poussées conduisant à la formation de sols faiblement ferrallitiques, dont les caractères hérités ne sont que très partiellement modifiés dans les conditions climatiques actuelles.

A l'individualisation des sesquioxides sont associés - notamment dans les sols ferrugineux tropicaux - des phénomènes de migration et d'immobilisation. Les conditions climatiques actuelles, en liaison avec le modelé et le régime hydrologique, sont favorables aux migrations d'hydroxydes (lessivage) mais ne conduisent qu'à des redistributions à très courte distance et à des immobilisations partielles : seuls sont

fréquents les phénomènes de ségrégation (taches) alors que les immobilisations par concrétionnement ne sont pas généralisées. Ainsi, les importantes accumulations d'hydroxydes sous forme de cuirasses ferrugineuses correspondent à des conditions climatiques anciennes plus humides, et à un modelé, plus favorables aux migrations à plus longue distance et aux intenses immobilisations d'hydroxydes.

En liaison avec le modelé et le régime hydrologique, le climat actuel favorise par contre des migrations et des immobilisations internes d'éléments ou de corps plus solubles que les sesquioxides : il s'agit de sels - notamment de carbonates - et de cations dispersants comme le sodium : présents en faibles quantités dans les plaines alluviales inondées, ceux-ci s'accumulent préférentiellement au voisinage de la limite d'inondation. Leur concentration s'effectue par évaporation et évapotranspiration des eaux de la nappe temporaire dont la composition et les variations de niveau sont liées à celles des eaux de submersion ; le modelé alluvial en bourrelets et la texture limoneuse assurant une meilleure diffusion capillaire, favorisent grandement ces concentrations. L'immobilisation de ces substances est variable : pour les carbonates, elle se réalise soit sous forme d'imprégnations diffuses peu stables (pseudo-mycellium), soit sous forme de nodules calcaires indurés plus stables et correspondant à un degré de cristallisation plus avancé. Le fait que dans certains profils la modulation calcaire ne soit plus liée à des migrations actuelles de carbonates, indique que ces immobilisations peuvent être anciennes et caractérisent alors un matériau. Quant à l'ion sodium, son immobilisation est faible et correspond à sa fixation sur le complexe absorbant qu'il tend à saturer (alcalisation), sinon à dégrader (solodisation). Par ailleurs il semble que des concentrations en sodium (et en sels), trop faibles pour déterminer l'alcalisation du complexe, puissent néanmoins favoriser un lessivage intense sinon des accumulations de type discontinu dans les horizons lessivés de sols ferrugineux tropicaux (Profils à raies).

Les difficultés générales de drainage sont également à l'origine d'une certaine concentration de cations bivalents (Ca et Mg) : celle-ci n'est observée que dans le bassin du Salamat où la diminution du rapport Ca/Mg du complexe pourrait correspondre aux néosynthèses argileuses dans les vertisols ; ceux-ci sont précisément localisés préférentiellement dans ce bassin. Cependant les tendances évolutives actuelles des vertisols (vers les sols hydromorphes) indiqueraient que ne sont plus réunies toutes les conditions ayant présidé à leur formation.

Les actions anciennes apparaissent donc directement et indirectement à l'origine de la formation et de la diversification des sols de cette région :

- Directement, pour certaines formations pédologiques qui conservent sous le climat actuel, la majorité de leurs caractères acquis lors d'une pédogénèse ancienne plus intense. (Sols ferrallitiques - Cuirassement ferrugineux).
- Indirectement par le façonnement du modelé, la mise en place, la nature des matériaux originels et l'établissement du réseau hydrographique. C'est en effet dans un milieu en grande partie "hérité" et dont l'évolution géochimique est déjà fortement orientée, que s'exercent les processus pédogénétiques actuels.

CONCLUSIONS

SUR L'UTILISATION DES SOLS

L'utilisation des sols est basée sur les propriétés des sols eux-mêmes - qui ont fait l'objet de cette étude - et sur les caractéristiques générales et particulières du milieu : notamment le climat régional, le régime hydrologique et le modelé.

I - LES CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU MILIEU ENVISAGÉES DU POINT DE VUE AGRONOMIQUE

Le climat de type tropical soudano-guinéen, par sa pluviométrie déjà élevée (1 000 mm), autorise la plupart des cultures tropicales sèches, notamment celles du *Sorgho* et du cotonnier. Le régime pluviothermique ne permet cependant qu'une seule saison de cultures sèches.

Par son humidité relative déjà élevée, le climat est favorable au développement des insectes vecteurs des trypano-somiasés qui réduisent fortement toute activité pastorale au nord de l'alignement des Koros. Dans cette feuille Singako, l'ancien système alluvial rive gauche du Salamat (Dongo) semble correspondre à la limite sud de la transhumance saisonnière.

Le régime hydrologique caractérisé par une crue annuelle de juillet à décembre et une submersion d'août-septembre à décembre, limite fortement les cultures de décrue : l'assèchement est en effet trop tardif pour permettre un cycle de végétation normal. Les seules zones basses cultivées en culture de décrue sont donc celles qui ne subissent pas totalement le régime annuel de submersion, et peuvent ainsi être utilisées dès le début de saison sèche.

Le régime d'inondation intéressant près de 75 % de la superficie cartographiée, n'autorise actuellement la pratique de la riziculture que dans de rares emplacements privilégiés où la maîtrise du plan d'eau peut être aisément assurée.

La pratique de l'irrigation pour des cultures désaisonnées ne peut être envisagée qu'au voisinage immédiat des principaux Bahrs. L'irrigation d'appoint pourrait éventuellement être pratiquée à la bordure de certaines zones inondées, non marquées par l'halomorphie.

Malgré son apparence très plane à l'échelle géomorphologique, le modélé présente des caractères particuliers au point de vue agronomique. Dans les zones exondées les pentes sont faibles - généralement inférieures à 2 % - mais les phénomènes d'érosion sont très fréquents par suite de la susceptibilité prononcée de certains sols après le défrichement. Dans les zones inondées à topographie générale très plane, intervient localement le microrelief du sol, caractérisé soit par des ondulations (microrelief gilgai) soit par des effondrements et une érosion en chenaux souterrains. Ce microrelief est moins gênant pour les cultures de décrue où l'on peut adapter la profondeur du repiquage au microrelief, que pour la culture rizicole où il contraint à utiliser systématiquement la technique du repiquage.

II - LA RÉPARTITION DES UNITÉS DE SOLS CARTOGRAPHIÉES

En se reportant à la carte pédologique, la répartition générale des principales unités de sols cartographiées est la suivante :

- Sur les reliefs exondés représentés par les Koros (matériaux du Continental Terminal), dominent les sols rouges faiblement ferrallitiques, profonds et recouverts par une savane boisée à dominance de légumineuses. La bordure de ces Koros est occupée par divers sols ferrugineux tropicaux lessivés dont le drainage est de plus en plus déficient en passant aux sols hydromorphes des plaines inondées. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés se différencient également sur des matériaux alluviaux formant des levées le long du Bahr Keïta et parfois le long du Bahr Aouk. Dans la région de Malé et au nord du Salamat, subsistent d'anciennes cuirasses ferrugineuses à la base de sols ferrugineux tropicaux lessivés peu profonds.
- Les bourrelets fluviaux qui bordent les systèmes hydrographiques actuels et anciens du Salamat et du Bahr Aouk (avec ses affluents), sont occupés par des sols halomorphes lessivés du type solonetz solodisé hydromorphe, fréquemment associés à des vertisols.
- Dans les plaines inondées, ce sont les vertisols hydromorphes qui dominent dans le bassin du Salamat alors que les vastes surfaces comprises entre l'alignement des Koros et le Bahr Aouk sont uniquement constituées de sols hydromorphes à engorgement temporaire d'ensemble. Suivant une limite sud parallèle au Bahr Keïta, les sols à pseudo-gley se situent de préférence au nord et les sols à gley sont dominants au sud, entre Bahr Keïta et Bahr Aouk.

Les principales unités pédologiques cartographiées occupent approximativement les surfaces suivantes :

Unités pédologiques cartographiées	Superficies approximatives en hectares	Pourcentages arrondis de la surface totale
<u>Sols exondés</u>		
1. Sols rouges faiblement ferrallitiques des Koros	60 000	5 %
2. Sols ferrugineux tropicaux lessivés profonds des Koros et sur alluvions	110 000	9 %
3. Sols ferrugineux tropicaux lessivés peu épais sur cuirasse	10 000	1 %
4. Sols halomorphes lessivés	140 000	12 %
(Pourcentage total de sols exondés : 27 %)		
<u>Sols inondés temporairement</u>		
5. Vertisols hydromorphes	120 000	10 %
6. Sols hydromorphes à pseudo-gley	330 000	28 %
7. Sols hydromorphes à gley	300 000	25 %
8. Complexe alluvial	120 000	10 %
(Pourcentage total de sols inondés : 73 %)		

III - L'UTILISATION ACTUELLE ET LES PRINCIPALES VOCATIONS CULTURALES

L'utilisation actuelle concerne certainement moins de 10 % de la surface totale : l'unité la plus utilisée est celle des sols ferrugineux tropicaux lessivés des bordures de Koros.

Trois principaux types de culture sont actuellement pratiqués.

- des cultures sèches : *Sorgho* et coton sur sols ferrugineux tropicaux lessivés généralement à drainage déficient,
- des cultures à appoint d'eau édaphique : sorgho de décrue sur vertisol hydromorphe,
- des cultures inondées : riziculture dans les sols hydromorphes.

Ils correspondent sensiblement aux vocations culturelles de ces sols, qui se répartissent de la manière suivante :

- Sols rouges faiblement ferrallitiques : vocation forestière ou culture de plantes pérennes. A défaut, cultures sèches (mil-coton), si l'implantation humaine est réalisée.

- Sols ferrugineux tropicaux lessivés

Sols profonds à bon drainage, superficiellement sableux : mil (arachide).

Sols profonds à drainage déficient : coton, sorgho.

Sols peu épais sur cuirasse : vocation forestière.

- Vertisols hydromorphes

- à décrue précoce : sorgho repiqué,

- inondés à décrue tardive : après aménagement hydro-agricole, possibilité de cultures de décrue et de riziculture.

- Sols halomorphes lessivés : aucune utilisation sans une amélioration profonde.

- Sols hydromorphes, inondés : généralement riziculture après aménagement hydro-agricole.

Ainsi pour 73 % de sols inondés, de l'ordre de 70 % de la surface totale demeurent inutilisables sans aménagement hydro-agricole.

Pour 27 % de sols exondés, 12 à 14 % environ de la surface seraient cultivables et approximativement 10 % pourraient être éventuellement récupérés.

Les surfaces cultivables sans interventions particulières sont donc particulièrement réduites, de l'ordre de 15 % au maximum : elles rendent compte des très faibles densités de population et de leur concentration réalisée seulement sur le pourtour des Koros.

IV - RAPPEL DES CONDITIONS D'UTILISATION DES PRINCIPALES UNITÉS DE SOLS

Les sols ferrugineux tropicaux

Les caractéristiques pédologiques favorisant l'utilisation de ces sols sont dues à leur texture superficielle sableuse les rendant faciles à travailler et à leur régime hydrique favorable à un cycle de culture sèche. Ce régime hydrique résulte soit de la capacité de rétention des horizons d'accumulation profonde, soit d'un engorgement temporaire de profondeur. Suivant la profondeur à laquelle se situe ces réserves en eau (correspondant sensiblement à l'épaisseur des horizons lessivés), on peut adapter aux différentes catégories de sols définies, des cultures plus ou moins exigeantes en eau. C'est ainsi que le cotonnier est cultivé de préférence sur les sols ferrugineux à pseudo-gley plutôt que sur les sols ferrugineux profondément lessivés à raies.

Dans les horizons superficiels sableux, la capacité de rétention de l'eau et des bases est principalement sous la dépendance de la matière organique : celle-ci est généralement peu abondante : sous végétation naturelle elle tend à se concentrer dans un horizon peu épais de type forestier ; après le défrichement le stock organique diminue rapidement.

Le complexe absorbant peu développé est faiblement saturé et le lessivage des bases est important. L'utilisation exclusive d'engrais minéraux est donc limitée et sans entretien du stock organique, on doit avoir recours à la jachère - avec des plantes à enracinement profond - pour assurer la remontée et la recharge périodiques en bases des horizons superficiels.

Cette déficience en colloïdes organiques et minéraux est également responsable de la faible agrégation et de la susceptibilité de ces sols à l'érosion.

On présume par ailleurs une déficience potassique dans les sols formés sur Continental Terminal.

Ces sols ferrugineux représentent actuellement le support essentiel de l'économie agricole de cette région : la majeure partie des sols de ce type est déjà fortement utilisée. Il apparaît donc nécessaire d'envisager la mise en œuvre d'un système d'exploitation plus intensif, basé sur la réduction de la durée de la jachère, avec augmentation préalable du stock organique, et des mesures simples de protection des sols contre l'érosion.

Les sols faiblement ferrallitiques

Dans la partie supérieure des profils, ils accusent à la fois des caractères de sols forestiers et une différenciation proche de celle des sols ferrugineux.

Leur potentiel de fertilité, acquis sous végétation naturelle est intéressant, mais leur évolution sous cultures annuelles après défrichement apparaît plus rapide encore que celle des sols ferrugineux si le stock organique n'est pas maintenu. Leurs caractéristiques générales de surface sont très voisines de celles des sols ferrugineux ; ils se distinguent en profondeur par une réserve minérale plus faible et de meilleures caractéristiques physiques de structure et perméabilité. Leur mise en exploitation est actuellement liée à l'implantation humaine sur les parties hautes des Koros où les ressources en eaux souterraines sont difficilement accessibles.

Les sols halomorphes

Par leurs caractéristiques physiques et chimiques très défavorables ces sols n'ont fait l'objet jusqu'à présent d'aucune utilisation. Les surfaces de sols exondés étant particulièrement réduites dans cette région, il peut être envisagé de tenter une "récupération" de ces sols en modifiant profondément leurs propriétés actuelles déterminées par l'alcalisation et la solidisation du complexe. Les techniques proposées au chapitre V (augmentation de l'infiltration et du drainage, mélange d'horizons) ne peuvent être valablement mises en œuvre que si l'alcalisation et la solidisation sont localisées à proximité de la surface et sont accompagnées d'une accumulation peu profonde de carbonates, sans glyification. Ces techniques, qui sont encore à expérimenter, pourraient permettre l'utilisation du potentiel chimique assez élevé de ces sols par une culture industrielle comme celle du coton.

Les vertisols hydromorphes

Seuls les vertisols hydromorphes peu évolués, largement structurés en surface, sont recherchés pour les cultures de décrue. Localisés dans les formations alluviales de bourrelets, leur décrue est plus précoce que celle des vertisols des plaines basses. Leur potentiel chimique est élevé et ils ne présentent généralement pas de microrelief accusé. Leurs caractéristiques défavorables sont leur structure grossière et leur tendance à l'alcalisation.

Les vertisols hydromorphes à début de structure fine sont soumis aux inondations périodiques. Ils présentent des potentialités voisines de celles des sols hydromorphes.

Les sols hydromorphes

Leur vocation est la riziculture comme l'indiquent leurs principales caractéristiques pédologiques : imperméabilité en profondeur, début d'accumulation humifère et d'agrégation fine en surface, pH acide et potentiel chimique satisfaisant (lorsque la déficience en acide phosphorique n'est pas trop prononcée).

Mais les très vastes surfaces occupées par ces sols sont sujettes aux variations de la submersion et seule la maîtrise de l'eau - basée sur les caractéristiques du régime d'inondation - permettrait leur exploitation.

*
* *

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) 1964 - La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride. in : Sols Africains - Vol. IX - n° 1 - pp. 97 - 105.
- AUBREVILLE (A.) 1950 - Flore forestière soudano-guinéenne (AOF - Cameroun - AEF). Paris - Soc. d'Ed. géogr. maritime et coloniale. 523 p., tabl., fig., bibliogr.
- AUDRY (P.) 1965 - Carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000e de la République du Tchad - Feuille Am Timan. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy - 3 Fasc., 96 p., multigr., annexes - 1 carte h.t.
- BACHELIER (G.) 1963 - La vie animale dans les sols. O.R.S.T.O.M., Paris - 279 p., tabl., fig., bibliogr.
- BOCQUIER (G.), AUDRY (P.), BARBERY (J.) 1964 - Carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000e de la République du Tchad - Feuille Am Dam. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy - 3 fasc. 88 p. multigr., annexes - 1 carte h.t.
- BOCQUIER (G.) 1964 - Présence et caractères de solonetz solodisés tropicaux dans le bassin tchadien. in : 8e Cong. Intern. Sc. du Sol. Bucarest - Résumés des communications - T.V. n° 60. pp. 881 - 4.
- BOUTEYRE (G.), LEPOUTRE (B.) 1959 - Premiers résultats sur l'étude de l'évolution des sols jeunes sur argiles récentes et argiles à nodules calcaires du Logone. CCTA. Publ. n° 50 - IIIe conf. Interafric. des Sols. Dalaba - Vol. II, pp. 899-907.
- BOUTEYRE (G.) 1959 - Trois années d'étude de l'évolution des sols sur argiles récentes et sur argiles à nodules calcaires du Logone. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy - 83 p. multigr., 25 graph.
- BOUTEYRE (G.) 1963 - Etude pédologique au 1/200 000e de la région du Logone et du Moyen Chari entre Logone et Bahr Sara. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy - multigr., 71 p., bibliogr., 2 cartes pédologiques h.t.

- DABIN (B.) 1961 - Les facteurs de fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. in : Bull. Associat. Franc. Etude de Sol. N° spécial 1961 - pp. 108 - 130, graph., bibliogr.
- DELAFOSSÉ (R.) 1960 - Notice explicative sur la feuille Fort-Archambault - Est. I.E.R.G.M., Paris - 39 p., 1 carte 1/500 000e.
- D'HOORE (J.L.) 1964 - La carte des sols d'Afrique au 1/5 000 000e - Mémoire explicatif. CCTA - Lagos. Publ. n° 93 - 209 p., cartes h.t.
- DOEGLAS (D.J.) 1960 - Sédimentological data for soil mineralogy. in : 7 th. Intern. Congress of soil Science - Madison. VII. 3. pp. 534-547.
- GRONDARD (A.) 1964 - La végétation forestière au Tchad. in : Bois et Forêts des Tropiques n° 93 - Janv. Février 1964 - pp. 15 - 34.
- MAIGNIEN (R.) 1961 - Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions sud-ouest du Sénégal. Sols Africains - Vol. 6 - n° 2 - 3. pp. 113-228.
- MARIUS (C.) 1961 - Evolution des sols sous culture dans les fermes cotonnières du Tchad. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy - 108 p. multigr., graph.
- MAYMARD (J.) 1959 - L'utilisation des terres en culture de décrue. CCTA. Publ. n° 50 - IIIe conf. Interafric. des Sols, Dalaba. Vol. II - pp. 884 - 889.
- MAYMARD (J.), COMBEAU (A.) 1960 - Effets résiduels de la submersion sur la structure du sol. in : Sols Africains - V. 2 - Mai-Août 1960.
- MERMILLOD (J.) 1963 - Note préliminaire sur la nappe phréatique de la partie Nord du bassin de l'Aouk - Salamat. B. R. G. M., Paris - 78 p. multigr., 5 planches en annexe, analyses bibliogr.
- O. R. S. T. O. M. 1963 - Annuaire Hydrologique de l'O. R. S. T. O. M. - Année 1959. O. R. S. T. O. M., Paris - 511 p., tabl., graph., cartes.
- PIAS (J.) 1964 - Notice sur les cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200 000e Feuille Lac Iro-Djouna. O. R. S. T. O. M. Fort-Lamy - 147 p. multigr., 2 cartes pédologiques au 1/200 000e.

- RODIER (J.) 1964 - Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo. O.R.S.T.O.M., Paris - 137 p.
- THOMANN (Ch.) 1964 - Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'ouest africain. O.R.S.T.O.M., Dakar - 52 p. multigr., graph.
- TURC (L.) 1961 - Evaluation des besoins en eau d'irrigation ; évapotranspiration potentielle - Formule climatique simplifiée. in : Ann. Agro. Paris - Vol. 12, n° 1, pp. 13 - 49.
- U.S.D.A. 1960 - Soil classification - A comprehensive system - 7th Approximation - U.S.D.A. - Washington - 265 p., fig.
- VINK (A.P.A.) 1964 - Aspects de Pédologie appliquée. Neuchatel. 174 p., fig., photos, bibliogr.

LISTE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1 - Localisation de la Feuille Singako et état d'avancement de la Cartographie Pédologique au 1/200 000e en République du Tchad	I
Fig. 2 - Répartition des surfaces levées par prospection au sol et prospection aérienne. Feuille Singako	V
Fig. 3 - La Feuille Singako et les principales unités géomorphologiques du sud-est tchadien	1
Fig. 4 - Données climatologiques. Pluviométrie et température	4
Fig. 5 - Comparaison de l'évapotranspiration potentielle et de la pluviométrie	12
Fig. 6 - Répartition des principales unités géomorphologiques et des matériaux originels	16
Fig. 7 - Texture des matériaux originels	20
Fig. 8 - Granulométries moyennes des matériaux originels des principales unités pédologiques	22
Fig. 9 - Capacité d'échange des matériaux originels	24
Fig. 10 - Les vertisols, croquis de situation	36
Fig. 11 - Les sols ferrugineux tropicaux, croquis de situation	46
Fig. 12 - Le lessivage et les types d'accumulation argileuse dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés	48
Fig. 13 - Morphologie des sols ferrugineux tropicaux lessivés	50
Fig. 14 - Les sols ferrallitiques, croquis de situation	69
Fig. 15 - Les sols halomorphes, croquis de situation	73
Fig. 16 - Morphologie et caractéristiques analytiques d'un solonetz solodisé hydromorphe	76
Fig. 17 - Relations génétiques entre vertisol et solonetz solodisé dans un modelé gilgaï	82
Fig. 18 - Les sols hydromorphes, croquis de situation	84
Fig. 19 - Répartition schématique des conditions d'hydromorphie dans les plaines alluviales	85
Fig. 20 - Sol hydromorphe à gley d'ensemble des plaines basses d'inondation (SI. 12 Yanga)	96

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

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS-8^e

Service Central de Documentation :

70-74, route d'Aulnay, 93-BONDY

Centre de Fort-Lamy :

B.P.65 - FORT-LAMY (Rép. du Tchad)

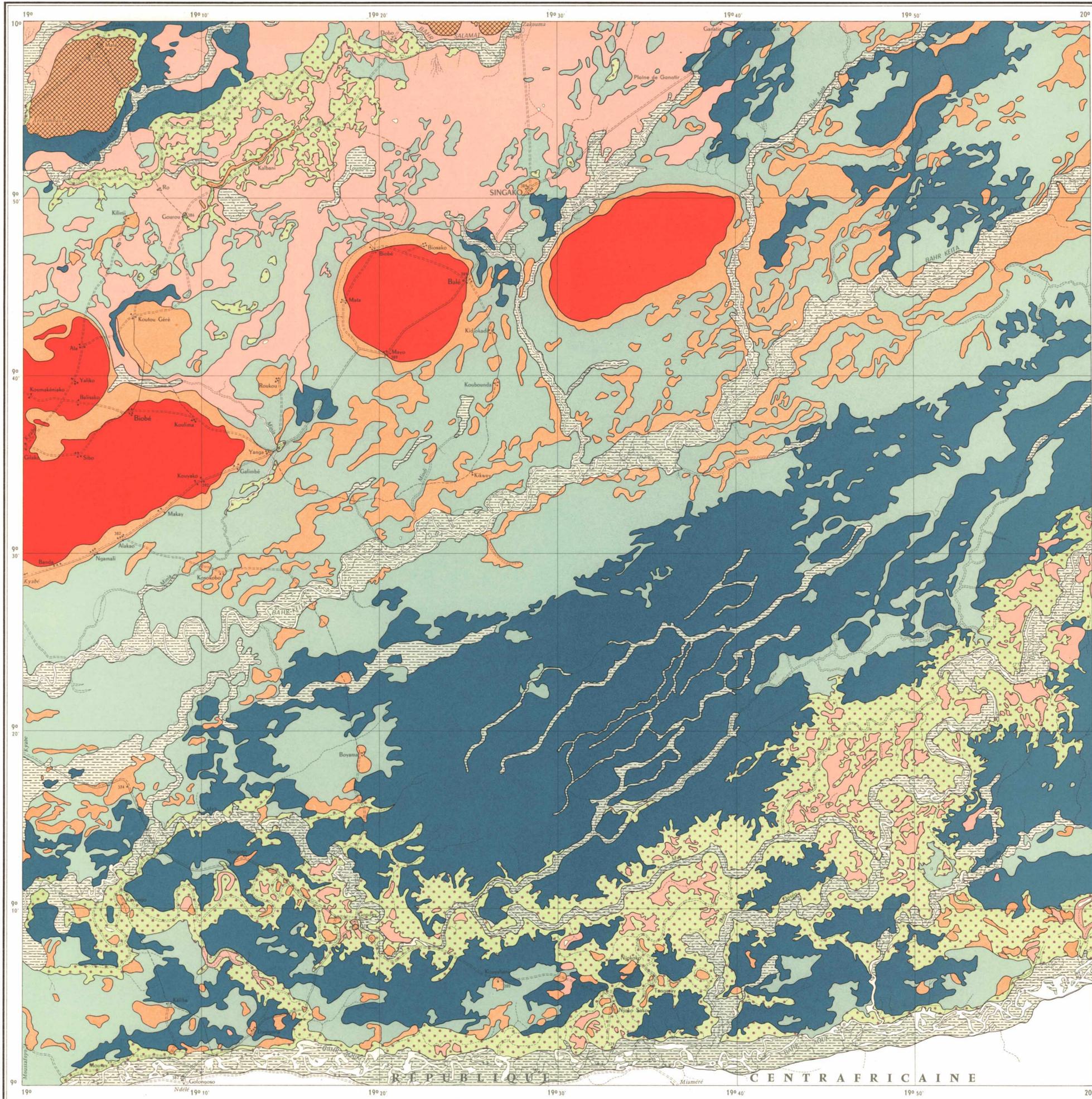
CARTE PÉDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE DE LA RÉPUBLIQUE DU TCHAD

SINGAKO

G. BOCOUIER J. BARBERY

RÉPUBLIQUE DU TCHAD
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
ET DES EAUX ET FORÊTS
DIRECTION DE L'AGRICULTURE

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER
CENTRE O.R.S.T.O.M. DE FORT-LAMY



L É G E N D E

SOLS PEU ÉVOLUÉS
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE
D'APPORT
HYDROMORPHES

○ Sur alluvions récentes et actuelles de texture variable

VERTISOLS
VERTISOLS HYDROMORPHES
AVEC DÉBUT DE STRUCTURE FINE EN SURFACE
AVEC ABONDANTES SÉGRÉGATIONS

○ Sur alluvions argileuses

**SOLS A SESOUIOXIDES (FORTEMENT INDIVIDUALISÉS
ET A HUMUS A DÉCOMPOSITION RAPIDE)**
SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

LESSIVÉS

GÉNÉRALEMENT A TACHES, AVEC OU SANS CONCRÉTIONS

○ Sur matériau sablo-argileux dérivé du Continental Terminal ou sur alluvions sablo-argileuses micacées

○ Sur matériaux avec ancienne cuirasse ferrugineuse à faible profondeur

SOLS FERRALLITIQUES
SOLS FAIBLEMENT FERRALLITIQUES

MODAUX

○ Sur matériaux argilo-sableux du Continental Terminal

SOLS HALOMORPHES
A STRUCTURE MODIFIÉE

LESSIVÉS A ALCALIS

SOLONETZ SOLIDISÉS HYDROMORPHES

○ Sur alluvions argilo-sableuses à argileuses

SOLS HYDROMORPHES
MINÉRAUX

A HYDROMORPHIE DE SURFACE ET D'ENSEMBLE (SOU-

MIS A UNE PLUS OU MOINS FORTE INONDATION)

A GLEY ET PSEUDOGLEY, POUVANT ÊTRE LESSIVÉS

○ Sur matériaux argilo-sableux à argileux, alluviaux ou dérivés du Continental Terminal

A GLEY

○ Sur matériaux argilo-sableux à argileux, alluviaux ou dérivés du Continental Terminal

ASSOCIATIONS DE SOLS

Dominance de Solonetz Solidisés Hydromorphes en association avec des Vertisols Hydromorphes

○ Sur alluvions argilo-sableuses à argileuses

Complexes alluviaux composés de :

Sols Hydromorphes à gley dominant

Sols Peu Évolués d'apport hydromorphes

Vertisols Hydromorphes

Solonetz Solidisés Hydromorphes

○ Sur alluvions récentes à actuelles de texture variable

○ Unité figurant uniquement en complexe

○ Unité figurant uniquement en association

