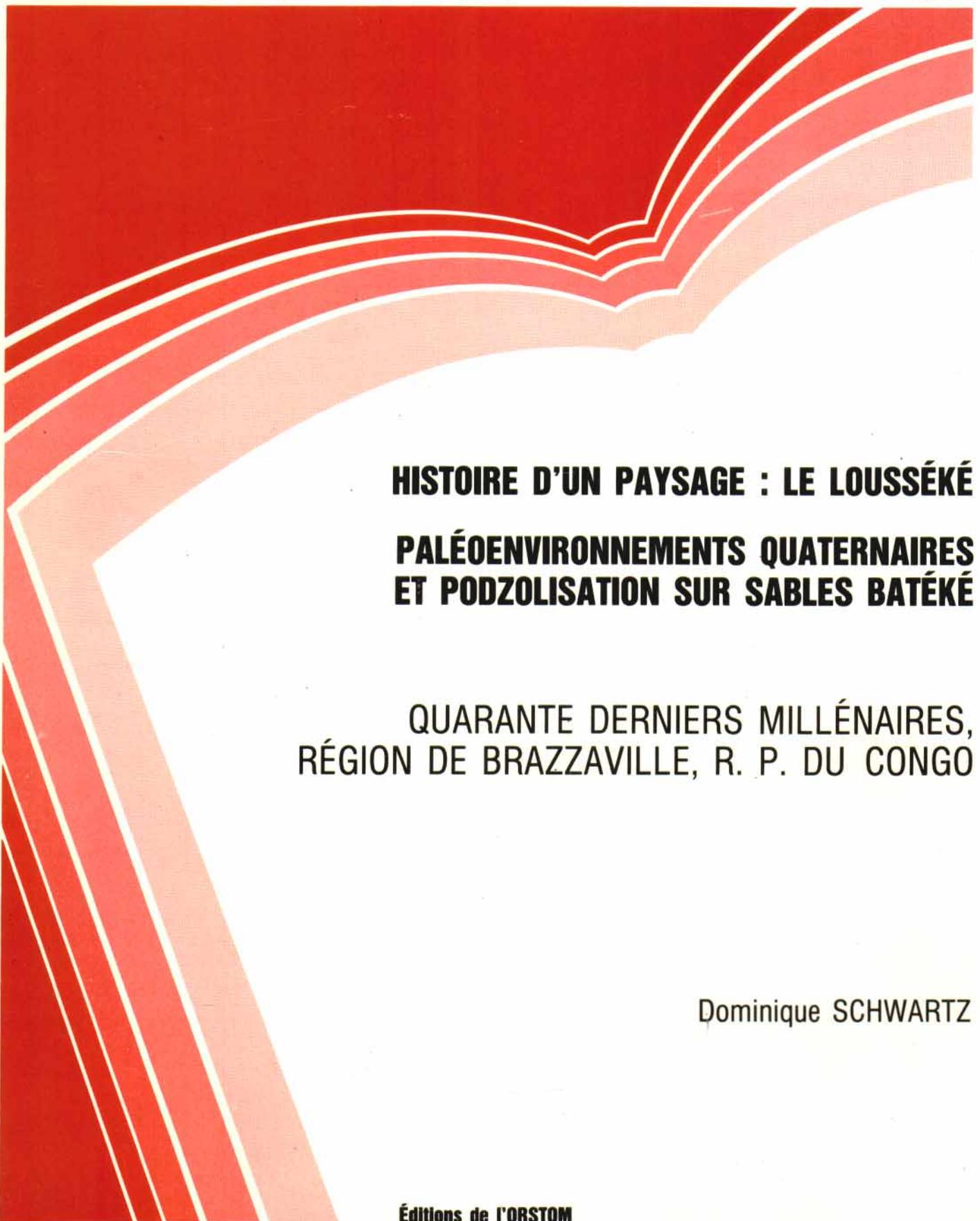


Etudes et Thèses



HISTOIRE D'UN PAYSAGE : LE LOUSSÉKÉ PALÉOENVIRONNEMENTS QUATERNAIRES ET PODZOLISATION SUR SABLES BATÉKÉ

QUARANTE DERNIERS MILLÉNAIRES,
RÉGION DE BRAZZAVILLE, R. P. DU CONGO

Dominique SCHWARTZ

Éditions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

ERRATUM
Études et Thèses : Dominique SCHWARTZ
page 264

LOUSSEKE DE GANGALINGOLO

CARTE N° 1 : TOPOGRAPHIE ET LOCALISATION DES OBSERVATIONS

- FOSSES PEDOLOGIQUES
- SONDAGES ET OBSERVATIONS
- ▲ STATION METEO
- ┆ PIEZOMETRES
- STATIONS RELEVES FLORISTIQUES
- △ INDUSTRIE LITHIQUE
- ◇ CHARBONS DE BOIS
- * RACINES FOSSILES
-  FORET GALERIE
-  MARES

Levers topographiques : D. SCHWARTZ, avec la collaboration de A. MASSALA et T. M'BEMBA (juin-juillet 1982).

Fond topographique : Carte I.G.N. Brazzaville 1c - 1/50 000 agrandie et modifiée.

Equidistance des courbes de niveaux : traits pleins : 1 m
tiretés : 0,50 m.

Dominique SCHWARTZ

**HISTOIRE D'UN PAYSAGE : LE LOUSSÉKÉ
PALÉOENVIRONNEMENTS QUATERNAIRES
ET PODZOLISATION SUR SABLES BATÉKÉ**

QUARANTE DERNIERS MILLÉNAIRES,
RÉGION DE BRAZZAVILLE, R. P. DU CONGO

Éditions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Collection **ÉTUDES et THÈSES**

PARIS 1988

Cette étude a fait l'objet d'une Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles
soutenue le 26 juin 1985 à l'Université de Nancy I

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

AVANT-PROPOS

Cette étude est le fruit de trois ans de recherches, d'abord au Centre ORSTOM de Brazzaville (R.P. du Congo), puis à Nancy, où le Centre de Pédologie Biologique m'a accueilli le temps de rédiger cette thèse.

Comme tous les travaux, et en particulier ceux qui font appel à des disciplines différentes, ce mémoire n'aurait pu être mené à bien sans la collaboration, les conseils, le soutien de nombreuses personnes que je voudrais associer aux résultats exposés ici.

Je tiens d'abord à remercier tous ceux qui occupent une place particulière dans la réalisation de ce travail.

A. LE COCQ a longtemps travaillé sur les podzols de la Cuvette congolaise avant de quitter l'ORSTOM pour d'autres destinées. Il a, le premier, abordé l'étude des loussékés dans une optique quaternariste. Je voudrais que ce mémoire témoigne de l'intérêt des hypothèses de travail qu'il a posées, ainsi que d'une continuité d'esprit.

R. LANFRANCHI, préhistorien à l'Université de Brazzaville, s'est, à ce titre, intéressé à l'environnement des populations préhistoriques, et a de ce fait collaboré avec A. LE COCQ. C'est donc tout naturellement que nous avons travaillé ensemble sur les problèmes du Quaternaire. Deux ans et demi de collaboration fructueuse, dont les résultats exposés ici ne sont qu'un des aspects, ont montré, au-delà de l'intérêt d'une démarche pluridisciplinaire, qu'une entente amicale entre membres d'une même équipe est plus efficace et importante qu'un cadre de travail formel. Un seul regret : que notre collaboration n'ait pu déboucher, pour des raisons purement matérielles, sur une soutenance de thèse commune.

F. TOUTAIN, spécialiste des humus au Centre de Pédologie Biologique et (entre autres) archéologue averti, a trouvé le temps, lors d'une mission au Congo, de discuter avec nous de nos projets et résultats. Il a tout de suite perçu l'intérêt de ce travail, proche des préoccupations du Centre de Pédologie Biologique. Comme sa curiosité d'esprit n'a d'égale que sa gentillesse, il m'a proposé d'achever ce travail dans le cadre d'une thèse de Docteur Ingénieur à Nancy. Je le remercie d'avoir accepté de me prendre sous son amicale tutelle.

Je voudrais enfin remercier Monsieur SOUCHIER, Directeur du Centre de Pédologie Biologique, dont l'accueil et la disponibilité ont été à l'image du rayonnement du C.P.B., et ont dépassé toutes mes espérances. Je ne le remercierais jamais assez d'avoir pris la lourde responsabilité de me faire entreprendre un travail plus conséquent que celui initialement prévu.

Je ne voudrais pas oublier cependant les nombreux autres intervenants, qui m'ont aidé dans ce travail.

A Brazzaville, J.L. FREZIL, Directeur du Centre ORSTOM, m'a toujours permis de travailler dans de bonnes conditions, et soutenu quand il le fallait. V. DOULOU, Directeur des Affaires Scientifiques et Techniques à la D.G.R.S., a toujours prêté une oreille attentive à nos sollicitations. M. MISSET, Chef du Service de Pédologie, m'a proposé de travailler sur les podzols. Je lui en sais d'autant plus gré, qu'il m'a laissé carte blanche pour mener ce travail à bien.

Il me faut également remercier mes camarades pédologues, R. BOSSENO, qui m'a initié, sur le terrain, à la pédologie tropicale, E. BRAUDEAU et A. MAPANGUI, pour leurs conseils, les hydrologues J.P. THIEBAUX et J. KONG, pour leur collaboration, les botanistes P. SITA et C. de NAMUR, souvent mis à contribution, les chefs de garage U. CAMMAS et P. MAZOYER, pour le soin qu'ils ont apporté à la préparation des tournées, et une mention spéciale à J.Y. LAURENT, responsable du Laboratoire d'analyses de sols, pour avoir supporter pendant deux ans et demi que je vienne m'enquérir toutes les cinq minutes de l'état d'avancement de mes échantillons. Enfin, un grand merci à A. MASSALA, M. BAKALA, C. KOUILLOU, G. BATILA, T. BEMBA et G. M'FINA pour leur efficace collaboration.

A Nancy, B. GUILLET n'a ménagé ni son temps, ni sa patience pour me faire bénéficier de sa grande expérience des podzols et des techniques analytiques qu'il a pu développer sur les radioisotopes ^{14}C . Je lui suis très reconnaissant de sa rigueur scientifique et des ses judicieuses remarques. Je voudrais également remercier G. VILLEMIN, dont la passion pour le microscope électronique est contagieuse, M. DOIRISSE, qui m'a initié aux arcanes de la fabrication des lames minces, R. JAEGY, qui a effectué les comptages au ^{14}C , F. LHOTTE, qui a réalisé les diagrammes R.X., P. FAIVRE, J. ROUILLER, E. JEANROY pour leurs avis et conseils, F. MERCIER, qui a corrigé ou réalisé les illustrations qui ornent ce document.

Par leur intermédiaire, c'est tout le personnel du Centre de Pédologie que je voudrais remercier.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la collaboration de nombreux laboratoires extérieurs. Que Madame DELIBRIAS (Laboratoire du Radiocarbonate du CNRS-CEA à Gif-sur-Yvette), R. DECHAMPS (Service d'Anatomie des Bois Tropicaux du Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique), A. MARIOTTI (Laboratoire de Biogéochimie des isotopes stables de l'Université Paris VII), D. RAMBAUD (Laboratoire de Microscopie électronique des S.S.C. de l'ORSTOM à Bondy), trouvent ici l'expression de ma gratitude.

Je me dois également de remercier B. PEYROT, Géomorphologue à l'Université de Libreville (Gabon), P. GIRESSE, Géologue à l'Université de Perpignan, et, à l'ORSTOM, D. ALEXANDRE, mon "patron" de l'UR B22, B. DABIN, J.F. TURENNE et B. VOLLKOFF pour les nombreuses et fructueuses discussions que j'ai pu avoir avec eux.

Monsieur J. KOEHLIN, Professeur au Centre de Géographie Tropicale de Bordeaux, a longtemps travaillé sur les savanes du Congo. Monsieur D. RIGHI, Chargé de recherches au CNRS Poitiers, est un spécialiste des podzols hydro-morphes. Je les remercie d'avoir bien voulu accepter de participer à ce jury, en compagnie de MM. DABIN (spécialiste de la matière organique, GIRESSE (Quartenaire du Congo), GUILLET (podzols et datation), SOUCHIER (Président du Jury), TOUTAIN (humus), déjà cités par ailleurs.

Je voudrais enfin remercier MM. ROEDERER, GUICHARD, LEVEQUE et RENOUX, dont les interventions ont été déterminantes pour me permettre d'achever ce travail.

INTRODUCTION

I.- GENERALITES SUR LES PODZOLS TROPICAUX

On distingue souvent, de façon usuelle, deux domaines de podzolisation bien différents dans les zones intertropicales :

* Le domaine montagnard : L'altitude y compense les effets de la latitude en ce qui concerne la température et les précipitations (RICHARDS, 1941). Les sols podzolisés qui s'y développent - uplands podzols - peuvent donc en quelque sorte être considérés comme des sols zonaux, relativement proches des podzols des climats tempérés (KLINGE, 1968, citant de nombreux travaux). Il ne s'agit donc pas, à proprement parler, de "podzols tropicaux" au sens pédologique du terme.

* Les basses régions : Les podzols - lowlands podzols - y sont présents dans les plaines sableuses à nappe phréatique. Il s'agit de sols intrazonaux, liés à des conditions particulières de station : matériau sableux et hydromorphie. DUCHAUFOUR (1977) les restreint aux plaines côtières sableuses, mais ils ont en fait une distribution bien plus large (KLINGE, 1968), toujours liée à l'existence d'un niveau hydrographique de base, ou d'un déficit du drainage externe.

Selon KLINGE (1966, 1968), il y aurait environ 77 000 km² de podzols dans les régions tropicales basses, soit moins de 2 % de la surface totale des zones intertropicales (Tableau I). Cette surface est sous-estimée, ne serait-ce qu'en raison de la connaissance cartographique incomplète des régions où de tels sols sont susceptibles de se développer. A titre d'exemple, les seuls podzols du Congo occupent une surface plus importante que celle donnée par KLINGE pour l'ensemble de l'Afrique (soit 550 km²). En Zambie, ils occupent, d'après BRAMMER (1973) une surface comprise entre 14 000 et 45 000 km². Au Brésil, plusieurs milliers de km² ont été cartographiés récemment (VOLKOFF, Communication orale), de même qu'en Colombie (FAIVRE, Communication orale).

Quant aux podzols de montagne, ils occuperaient une surface de 44 000 km², essentiellement en Amérique du Sud (KLINGE, 1968, d'après GRACANIN, 1951).

Tableau I.- Distribution des podzols tropicaux (Basses régions) (en millions d'hectares). D'après KLINGE (1966)

	I	II	III	IV	Total
Superficie des zones tropicales	1 560	2 170	400	345	4 475
dont zone tropicale à climat humide forestier	680	230	240	2	1 152
<u>Podzols</u>					
Sous climat humide forestier	0,6	0,052	1,25	-	1,4
sous les autres zones climatiques	0,004	0,003	0,2	2,5	2,7
en zone subtropicale	1,0	0	0	2,1	3,1
Total	1,6	0,055	1,45	4,6	7,705

I = Amérique du Sud, Amérique Centrale, Caraïbes, Floride

II = Afrique au Sud du Sahara, Madagascar

III = Asie du Sud-Est, sauf Inde, Pakistan, Chine et Philippines

IV = Australie, Fidji, Nouvelle Zélande

Les premières observations sur les podzols tropicaux sont déjà anciennes. Il s'agit de descriptions de sables blancs ou blanchis (white sands, bleached sands) par des explorateurs : BECCARI, 1904 ; SPRUCE, 1908 ; RAMANN, 1911.

La nature podzolique de ces sols n'a cependant été relevée que plus récemment. DIELS et HACKENBERG (1926) décrivent, à Bornéo, un horizon B noir et induré. BABET (1933) apparente les alios du Congo à ceux des Landes et du Bassin Parisien, sans pour autant parler de podzols, mot déjà employé par SENSTIUS (1930) pour désigner des sols d'altitude en Nouvelle Guinée. Si ces derniers, sols zonaux de montagne, sont donc assez rapidement qualifiés de podzols, il faut attendre 1936 pour qu'on désigne ainsi les podzols des régions basses (HARDON). L'emploi de ce terme se généralise assez rapidement (RICHARDS, 1941 ; RIQUIER, 1948 ; LENEUF et OCHS, 1956 ; BOCQUIER et De BOISSEZON, 1959 ; AUBERT, 1963, entre autres), avec parfois des réticences : ainsi, certains auteurs français ont employé de terme de "pseudopodzols de nappe" suivant en cela la classification proposée par AUBERT en 1965. L'utilisation de ce dernier terme marque bien l'étonnement et les hésitations des observateurs, dans un premier temps déconcertés par ces sols, inattendus sous ces latitudes, dont la genèse et la morphologie ne correspondent pas au podzol drainé, à mor, classiquement décrit dans les régions tempérées.

La bibliographie ancienne, relativement abondante (on consultera KLINGE, 1968, pour une revue conséquente), est de ce fait essentiellement descriptive. Les aspects morphologique et zonal, au travers des relations climat-végétation-humus-podzol, y tiennent une grande place.

La bibliographie récente est moins abondante, mais les travaux réalisés sont nettement pédogénétiques et axés sur la dynamique de la matière organique, du fer et de l'aluminium. On citera essentiellement la thèse de TURENNE (1975), seule thèse consacrée aux podzols tropicaux à notre connaissance, et parmi les articles, ceux de BLANCANEAUX et al. (1973), FAIVRE et al. (1975), FLEXOR et al. (1975), LUCAS et al. (1983), ainsi que TAN et al. (1970) et ANDRIESSE (1968, 1969).

Un certain nombre de caractéristiques communes aux podzols tropicaux ressortent des publications qui leur sont consacrées :

* les dimensions verticales des profils sont importantes, d'où le nom de "giant podzols" employé par les auteurs anglosaxons (JENNY, 1948 ; MOHR et al., 1972). Des horizons A_2 et B_h épais de plusieurs mètres sont assez courants.

* les horizons B_h sont souvent indurés en alios. Ceux-ci sont en général seulement humiques.

* il ne semble pas y avoir réellement de végétation typique. De tels sols ont en effet été signalés et décrits sous forêt sèche et humide, savane arbustive, steppe, tourbière. Des climax très différents ont même été reconnus (RICHARDS, 1941). Ceci reflète pour partie les variations des pédoclimats et pour partie la diversité de la pluviosité. Celle-ci varie en effet de 700 à 7 200 mm, mais la plupart des podzols reçoivent de 1 000 à 2 450 mm par an (KLINGE, 1969).

* la podzolisation paraît relativement indépendante du type d'humus; en particulier, la présence d'un humus brut n'est pas une condition indispensable à la podzolisation (DAVIES, 1970 ; TURENNE, 1975).

* la pédogénèse est une podzolisation hydromorphe : le développement de ces podzols est lié à la présence d'une nappe d'eau permanente, mais bâtarde. La présence initiale de fer dans le matériau n'empêche pas la podzolisation, car il est éliminé latéralement.

* enfin, un certain nombre d'auteurs font remarquer que les conditions actuelles de milieu physique ne sont pas forcément celles qui ont présidé à la formation de ces sols (De HEINZELIN, 1952 ; KLINGE, 1969 ; FAIVRE et al., 1975). En particulier, en ce qui concerne l'hydromorphie, si BRAMMER (1973) estime que les podzols tropicaux bien drainés ont une genèse actuelle, FLEXOR et al. (1975) pensent au contraire qu'il s'agit d'anciens podzols de nappe, dont le drainage externe s'est amélioré pour diverses raisons.

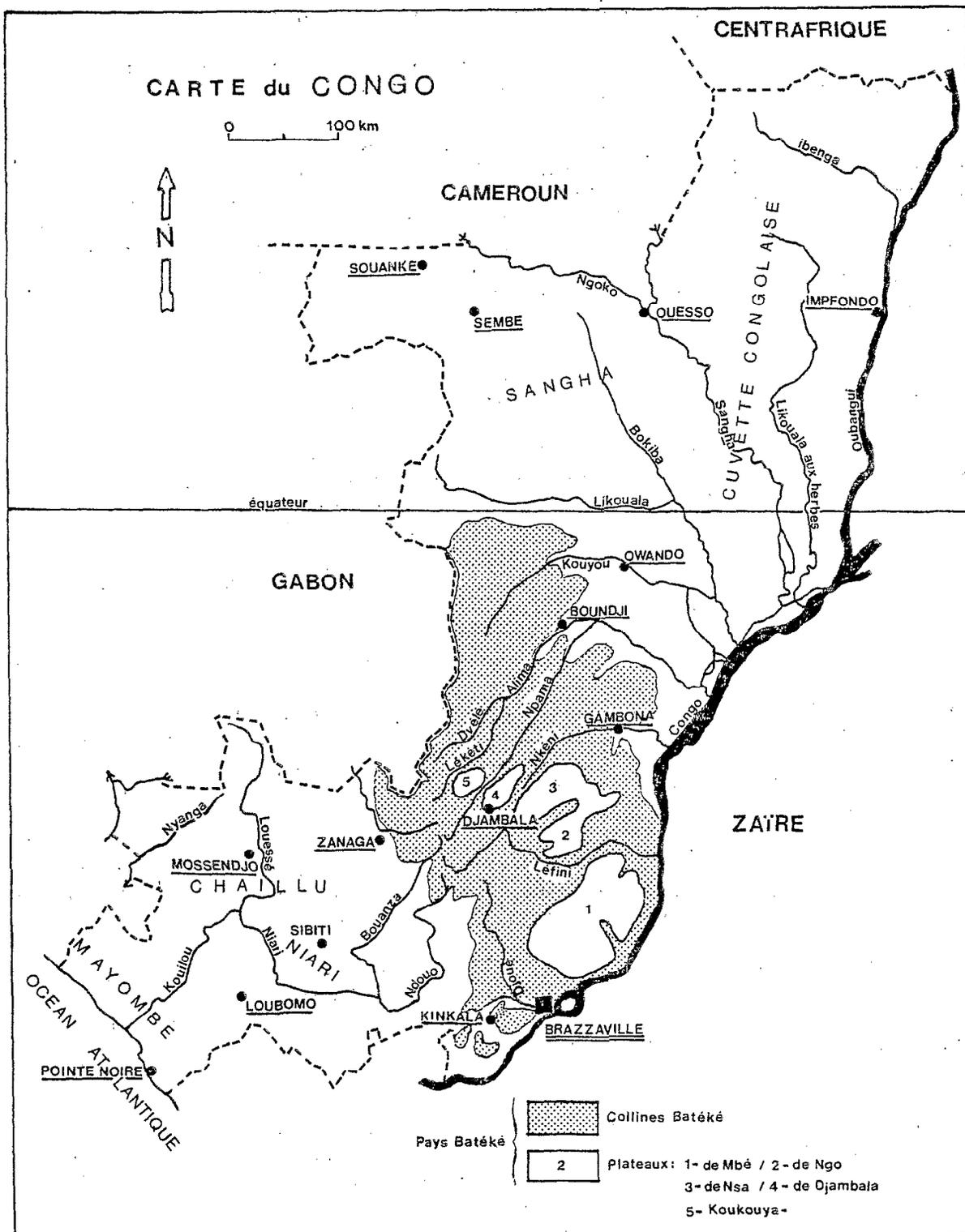


Figure 1.- Carte du Congo.

II.- LES DIFFERENTS DOMAINES DE PODZOLISATION AU CONGO

Les podzols du Congo se répartissent dans deux domaines très différents (Figure 1).

1.- La région côtière

Les podzols y sont localisés sur les cordons sableux de la plaine littorale, généralement en position sommitale. Si les horizons A₂ peuvent atteindre 1 m d'épaisseur, les B_h ne sont en général épais que d'une vingtaine de centimètres. D'après JAMET (1967) et in JAMET et RIEFFEL (1976), ils auraient pris naissance sous l'action d'un humus forestier. L'influence possible d'une nappe d'eau reste cependant à préciser.

2.- Le pays Batéké

Le pays Batéké forme un ensemble de plateaux et de collines, qui occupent le centre du Congo. Les mécanismes de la podzolisation y sont perceptibles sous deux formes bien différentes :

a) Dans les sols ferrallitiques psammitiques bien drainés, sous forêt, une dégradation superficielle se traduit par l'apparition d'un horizon A₂ nettement blanchi sur quelques dizaines de centimètres au maximum (De la SOUCHÈRE et BOSSENO, 1974 ; Le COCQ et BOSSENO, 1983). Cette dégradation, si elle reste toujours ménagée, n'en est pas moins relativement rapide ; nous pensons qu'un laps de temps de l'ordre du siècle, est suffisant pour arriver à un A₂ de 30 à 40 cm d'épaisseur. Quant aux mécanismes, ils semblent plus s'apparenter à du lessivage qu'à une réelle podzolisation. On aboutit toutefois à des sols, qui peuvent être considérés comme des "sols ferrallitiques fortement désaturés, psammitiques, sur sables Batéké, série sous forêt, faciès podzolique".

b) Sans aucun lien génétique avec les précédents, ni aucun lien de répartition, on trouve des podzols hydromorphes, qui occupent des surfaces importantes au fond des vallées de la zone des collines et dans certaines dépressions des plateaux. Ces sols ont des dimensions verticales importantes : horizons A₂ et B_h ont en général plus d'un mètre d'épaisseur. Ils se trouvent dans une unité de paysage, appelée lousséké, que nous définirons ultérieurement.

Ce sont ces derniers sols, et eux seuls, qui font l'objet de cette étude (on exceptera quelques résultats partiels, radiochronologiques, sur les podzols côtiers, donnés à titre comparatif).

III.- QUELLE DEMARCHE POUR L'ETUDE DES SOLS DE LOUSSEKE ?

Les travaux récents, en particulier ceux des pédologues de l'ORSTOM (TURENNE, 1975 ; LUCAS et al., 1983), insistent sur l'intérêt de l'étude de la dynamique actuelle de la transition sol ferrallitique-podzol : c'est effectivement à cet endroit charnière qu'il est possible, à partir de l'analyse des termes progressifs du passage d'un sol à l'autre, de déduire un certain nombre de conclusions sur les mécanismes et la succession de différentes phases pédogénétiques. Trois articles de BOULET et al. (1982a,b,c) illustrent l'intérêt d'une analyse de la structure tridimensionnelle de la couverture pédologique pour l'étude à grande échelle d'unités de modelés simples.

Le lecteur pouvait donc s'attendre à ce que l'étude menée ici procède d'une démarche analogue. Il constatera, avec étonnement peut-être, qu'il n'en est rien.

Les raisons en sont les suivantes : si la démarche proposée par BOULET et al. (1982a,b,c) nous paraît fondamentale pour l'étude de phénomènes relevant d'une dynamique actuelle, c'est-à-dire où seules des modifications de facteurs internes au sol sont considérés comme étant nécessaires à l'évolution des sols (BOULET et al., 1982a ; voir aussi les schémas proposés dans BOULET et al., 1982c, page 349, qui vont dans le même sens d'une fixité des facteurs externes), il n'en est plus de même lorsque des variations importantes de l'environnement ne permettent plus d'appréhender la logique du continuum pédologique.

Or, il est apparu, assez rapidement, suite aux premières observations prenant en compte des données quaternaristes sur les formations Batéké (LE COCQ, 1980 ; DELIBRIAS et al., 1983), complétées dans la région de Brazzaville par nos propres travaux, que les podzols y étaient des sols reliques purement stationnels, à dynamique actuelle résiduelle, ayant connu des environnements variés au cours de leur histoire.

En particulier, les environnements climatiques, botaniques, géomorphologiques, qui ont présidé à la formation de ces sols, étaient très différents des conditions actuelles du milieu. Dès lors, il devenait évident que cette dimension chronologique, historique, devenait prépondérante et qu'il était essentiel d'étudier ces sols en fonction de leurs paléoenvironnements, pour comprendre leur genèse. C'est le sens de ce travail, à la fois pédologique et quaternariste.

PREMIÈRE PARTIE

APPROCHE SPATIALE DES LOUSSEKES ET DE LA PODZOLISATION

Nous procéderons, dans cette première partie, à une approche des podzols des formations Batéké par le biais de l'unité de paysage, appelée lousséké, dont ils sont caractéristiques.

Après avoir rapidement décrit son domaine de répartition (Chapitre I), nous caractériseront cette unité de paysage (Chapitre II), puis nous montrerons que les influences anthropiques restent profondément marquées dans ces sols et ces paysages, étonnamment utilisés (Chapitre III).

Chapitre I : Le milieu : le pays Batéké

Chapitre II : Le lousséké, unité de paysage

Chapitre III : Utilisation des loussékés et anthropisation des paysages

CHAPITRE I

LE MILIEU : LE PAYS BATEKE

Avant d'étudier l'unité de paysage associée aux podzols, il convient de rappeler les caractéristiques essentielles du pays Batéké.

I.- LE CLIMAT

Les sources utilisées pour caractériser le climat sont diverses : ASECNA (1964), MOLINIER et al. (1981), qui ont synthétisé des données ASECNA inédites, Atlas du Congo (1969), Samba-Kimbata (1978).

A.- Caractérisation du climat

Le Congo est un pays de climat équatorial de type "guinéen forestier". Mais des nuances sont apportées par différents facteurs : altitude, extension en latitude du pays, orientation des reliefs.

Le pays Batéké est ainsi soumis à deux variantes de climat :

* Au nord d'une ligne Kindamba-Ngabé (Figure 2), le climat est de type subéquatorial, caractérisé par :

- des précipitations supérieures à 1 600 mm, dépassant même, vers la frontière gabonaise, 2 100 mm
- une saison sèche comprise entre 1 et 3 mois
- une amplitude thermique annuelle de 1,5°.

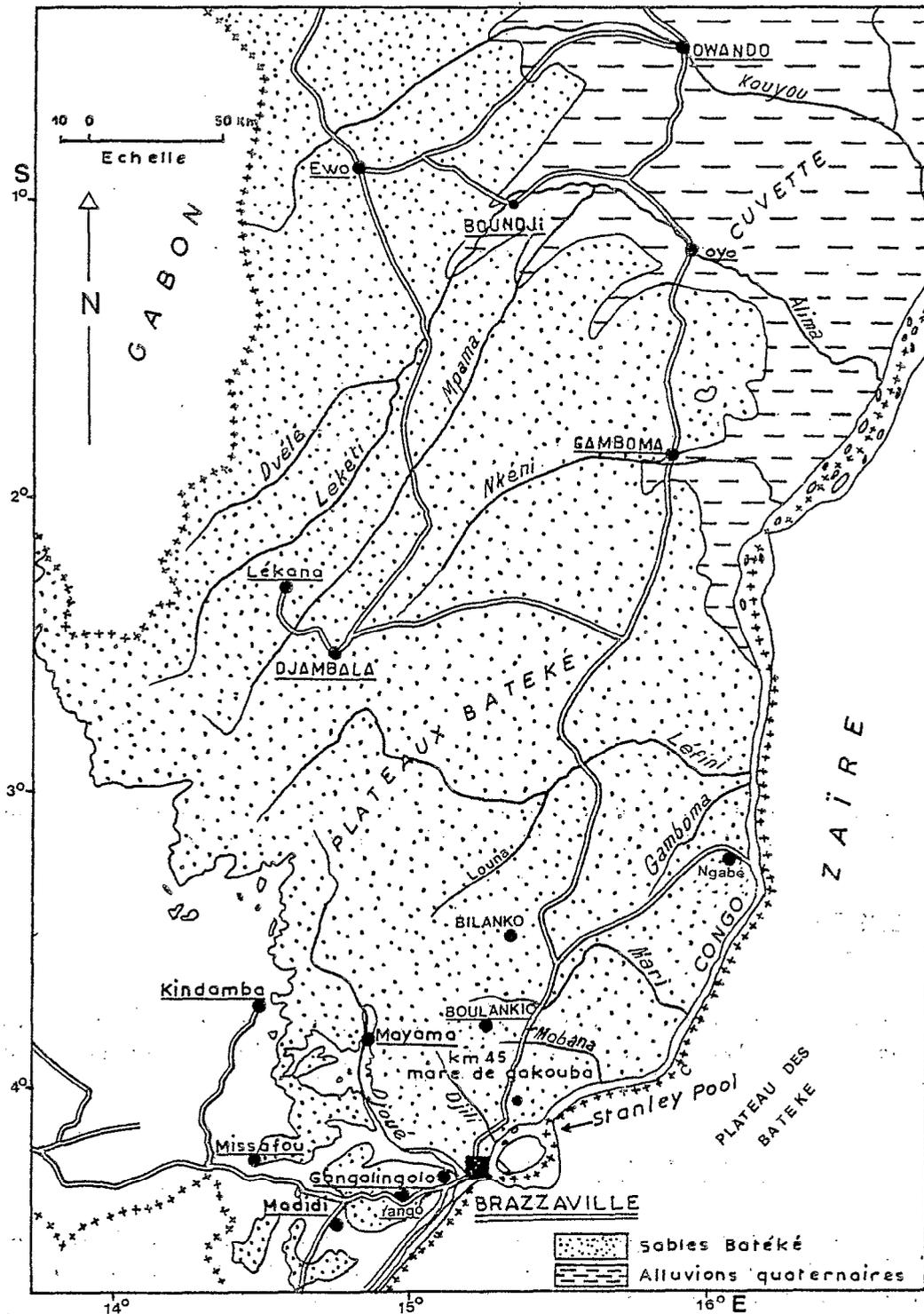


Figure 2.- Carte géologique simplifiée et localisation des observations.

* Au sud de la ligne Kindamba-Ngabé, le climat est de type bas-congolais, caractérisé par :

- une saison sèche marquée, de 4 à 5 mois, pendant laquelle on enregistre les précipitations minimales de juin à septembre,
- une petite saison sèche en janvier-février, de durée extrêmement variable (une semaine à plus d'un mois), et qui correspond en fait à un simple ralentissement des pluies,
- une humidité relative élevée, même pendant la saison sèche,
- une pluviosité inférieure à 1 600 mm, avec des variations importantes d'un an sur l'autre,
- une température moyenne de 25°, avec des amplitudes de 4 à 6°.

B.- Les données brutes (Tableau II)

1.- Les températures moyennes varient très peu tout au long de l'année, avec toutefois un léger maximum en avril. Les maxima sont peu élevés, entre 35 et 36°. Par contre, les minima peuvent être importants, surprenant même sous ces latitudes : 10,3° à Brazzaville, certainement moins à Djambala, situé en altitude.

Des différences thermiques apparaissent toutefois selon la station. Ainsi, à Brazzaville, où l'influence océanique est plus importante, les amplitudes annuelles sont plus élevées. A Djambala, l'altitude provoque une légère baisse générale de la température.

Tableau II - Données climatologiques (moyennes 1950-1980)

		Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
BRAZZAVILLE	P	151,4	126,1	174,7	192,3	131,1	6,0	1,2	2,9	34,1	133,0	253,7	174,5	1 381
	T	25,8	26,1	26,5	26,7	25,9	23,4	21,9	23,0	25,2	25,8	25,8	25,6	25,1
	I	4,48	4,88	5,73	5,72	4,58	4,49	4,11	4,67	4,74	4,73	5,06	4,68	4,82
DJAMBALA	P	206,1	194,5	240,0	248,6	210,2	30,0	11,8	40,2	133,4	258,7	271,8	237,3	2 083
	T	23,1	23,4	23,7	24,1	23,5	22,4	21,6	22,1	22,7	22,7	22,9	22,8	22,9
	I	4,74	5,34	4,99	5,32	5,32	5,56	5,59	5,04	4,45	4,26	4,13	4,15	4,91
GAMBOMA	P	153,2	166,9	176,8	176,9	152,8	48,0	27,7	56,6	168,7	258,5	219,6	187,8	1 794
	T	25,8	26,2	26,5	26,7	26,3	25,7	25,3	25,8	25,7	25,5	25,4	25,5	25,9
	I													

P = Précipitations en mm ; T = Température en °C ; I = Insolation en h/jour (d'après MOLINIER et al., 1981).

Tableau II₂ - Données climatologiques : moyennes 1950-1960
Station de Brazzaville Maya-Maya (sources : ASECNA, 1964)

Latitude = 04° 15' S

Longitude = 15° 14' E

Altitude = 314 m.

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC	Année	
Tempé. moyen. journalière en degrés celsius et dixièmes	25,6	25,8	26,2	26,2	25,4	23,1	21,7	23,0	24,8	25,6	25,5	25,5	24,9	
Température moyenne des maximums	30,0	30,6	31,3	31,5	30,1	27,9	26,5	28,0	29,7	30,2	30,2	30,0	29,7	
Température moyenne des minimums	21,3	21,2	21,5	21,5	21,1	18,1	16,7	17,8	19,9	21,1	21,2	31,3	20,2	
Maximum absolu	34,3	35,1	35,4	35,0	34,2	32,6	31,9	33,5	34,7	34,8	35,8	34,0	35,8	
Minimum absolu	17,8	17,5	18,4	19,4	17,0	13,1	11,0	10,3	16,1	17,9	19,0	19,1	10,3	
Haut. moyen. des précipit. en millimètres et dixièmes	120,2	122,8	184,9	209,8	132,8	2,1	0,5	2,1	32,8	141,4	227,4	193,5	1370,3	
Nbre moyen de jrs de pluie	9,0	10,1	12,7	15,0	10,3	0,5	0,5	0,7	4,4	11,0	16,1	14,2	104,5	
Hauteur maximale	229,8	241,1	245,7	308,3	280,3	10,7	2,2	12,7	81,2	228,0	292,4	280,7	1089,2	
Nbre maximal de jrs de pluie	14	15	19	20	17	3	1	3	7	14	22	19	120	
Hauteur minimale	65,9	16,3	109,3	115,8	14,5	0,0	0,0	0,0	3,8	45,7	139,6	82,0	1098,2	
Nbre mini. de jours de pluie	1	5	9	9	3	0	0	0	2	6	13	9	77	
Maximum abs. en 24 heures	72,5	61,3	87,7	101,4	106,5	10,0	2,2	12,0	37,7	100,0	66,0	92,0	106,5	
Humidité relat. moyenne en %	à 07 h.	96	95	95	96	95	95	91	90	89	90	94	95	94
	à 13 h.	70	68	66	66	69	68	66	60	60	65	68	70	66
	à 19 h.	82	80	80	82	83	80	76	68	68	76	82	84	78
Nébulosité moy. en octas	à 07 h.	6,7	6,6	6,6	6,6	6,6	6,4	6,0	5,7	6,0	6,7	6,8	6,6	6,4
	à 13 h.	6,0	5,8	5,8	5,6	5,6	5,1	5,1	4,7	5,5	5,9	5,7	5,8	5,6
	à 19 h.	5,1	5,1	5,4	5,3	4,1	1,5	1,9	2,3	3,0	3,6	4,8	4,9	3,9
Nbre moyen de jours d'orage	10,4	12,5	15,4	19,7	13,8	0,3	0,2	0,4	3,3	11,1	17,6	13,8	118,5	
Nombre moyen de jours de brouillard	1,9	1,2	1,2	1,8	2,5	4,1	2,3	0,1	0,0	0,5	1,4	1,6	18,6	

2.- Les précipitations sont réparties très inégalement tout au long de l'année (Figure 3), en raison de l'existence d'une saison sèche plus ou moins longue et rigoureuse. Il est généralement possible de relever deux maxima : en avril et en octobre-novembre. Le total annuel est habituellement compris entre 2.000 et 1 400 mm, ce qui est relativement faible en région sub-équatoriale.

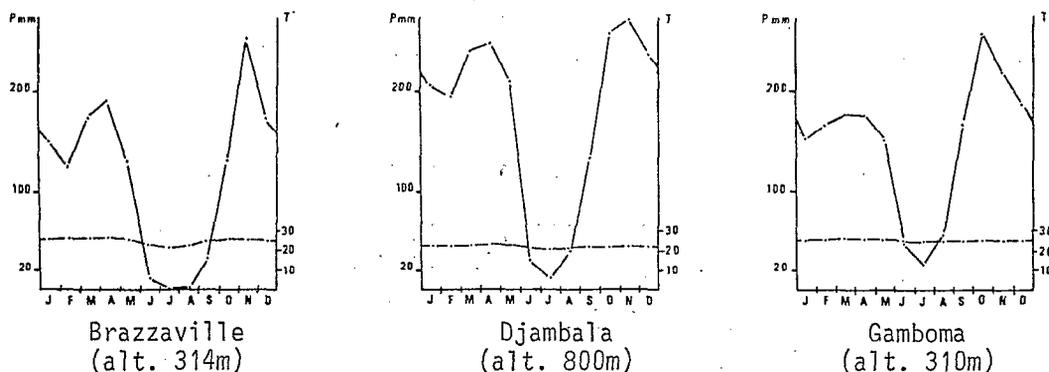


Figure 3.- Diagrammes ombrothermiques de trois stations.

L'origine des pluies est diverse, mais l'énorme majorité, soit 81 % (LOEMBE, 1978) se produit sous forme d'averses orageuses, qui peuvent être très violentes. L'essentiel des totaux pluviométriques est le fait d'abats supérieurs à 20 mm ; les précipitations supérieures à 80 mm sont cependant très rares : moins de 1 % du total des pluies (LOEMBE, 1978, d'après SAMBA-KIMBATA, 1978). Les abats exceptionnels ne sont donc pas excessivement violents. Les précipitations peuvent durer plusieurs heures, mais l'essentiel des abats s'effectue en un temps relativement bref : une demi-heure à une heure et demie, le reste s'étalant en une traîne plus ou moins longue. Mesurées sur 30 mn, les intensités dépassent rarement 80 mm/h. En intensité maximale, instantanée, on cite des valeurs plus élevées : le record à Brazzaville étant de 5,1 mm/mn, soit 306 mm/h en mars 1964 (LOEMBE, 1978, d'après sources ASECNA).

3.- L'humidité est importante. Les variations mensuelles sont faibles. Par contre, les amplitudes journalières sont plus élevées. L'humidité est minimale quand la température est maximale, en début d'après-midi, et maximale quand la température est minimale, vers le lever du soleil.

4.- On notera enfin l'insolation peu importante, inférieure à 1 700 heures par an, et le nombre élevé de jours d'orage, qui se déclarent presque exclusivement pendant la saison des pluies. A Djambala, il y a ainsi plus de 200 jours d'orage par an. Les vents sont, eux, très faibles dans l'ensemble. Quelques rafales plus violentes, mais brèves, précèdent généralement de peu les abats orageux.

C.- Bilan P-ETP-RU

L'évapotranspiration potentielle (ETP), donnée ici, résulte des mesures effectuées par RIOU (1975) à Brazzaville. Les variations annuelles de l'ETP sont très faibles, de même que les variations mensuelles (Tableau III). Elles ne sont que de 1 à 2 pour les variations mensuelles, alors qu'en France, par exemple, des rapports de 1 à 120 sont fréquents. La figure 4 donne un bilan P-ETP-RU pour un sol dont la réserve utilisable (RU) a été arbitrairement fixée à 150 mm.

Tableau III.- Valeur de l'ETP mensuelle (en mm/mois) à Brazzaville

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P	120	127	185	210	133	2	0,5	2	33	141	227	153	1370
ETP	85	92	116	106	87	63	63	83	97	98	92	87	1070

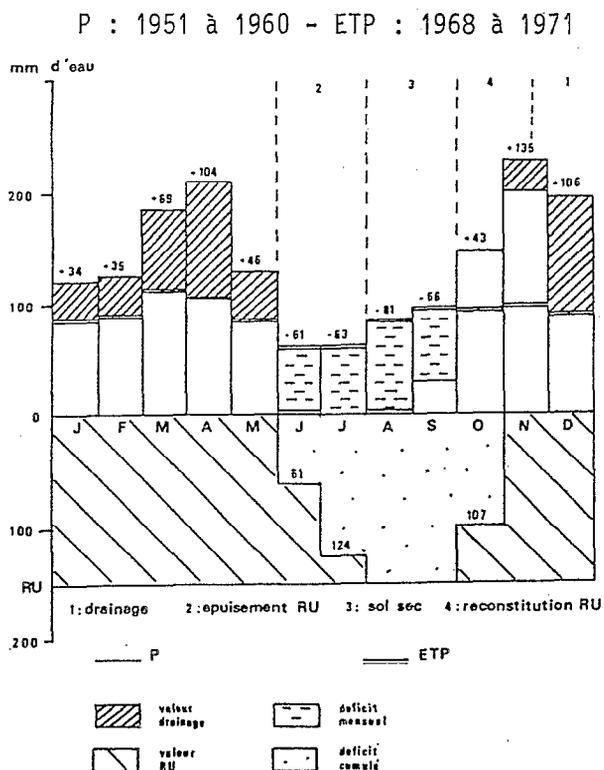


Figure 4.- Bilan P-ETP-RU

II.- LA GEOLOGIE

Plusieurs ensembles peuvent être individualisés dans la zone d'étude.

A.- Le soubassement

1.- Grès de l'Inkisi

La série de l'Inkisi, composée essentiellement de grès rouges, représente le terme supérieur du "système du Congo Occidental". Elle est rattachée au Précambrien final. Cette série n'est observable qu'au Sud de Brazzaville.

Un affleurement, dans une carrière près de Gangalingolo (Figure 13), permet de rapporter les niveaux de la région à l'étage inférieur de la série, défini par COSSON (1955). On y voit des arkoses à micas blancs, des stratifications entrecroisées et des galets arrondis, plats, de quartz, psammites, grès et argilites, en lits lenticulaires ou isolés, qui, tous, caractérisent ce niveau déposé, d'après COSSON (1955) en eau peu profonde, mais en milieu agité. Les grains de quartz qui composent ce grès sont tous des non-usés (NU).

2.- Grès du Stanley-Pool

La série du Stanley-Pool repose en discordance sur les grès de l'Inkisi. Le contact est situé au niveau de Brazzaville, mais difficilement observable, car il est ennoyé sous les sables Batéké. La série comprend trois niveaux : un niveau inférieur, d'argilites rouges à passées gréseuses, un niveau moyen de grès compacts blancs, et un niveau supérieur de grès kaoliniques tendres jaunâtres. C'est le terme médian qui est présent à Brazzaville, où il est observable au ravin de Makélékélé (CHEVALLIER et al., 1972), tandis que le terme supérieur est visible aux falaises de Douvres, à l'Ouest du Stanley-Pool. Ailleurs, cette série est généralement recouverte par les sables Batéké. Cette formation daterait du Jurassique supérieur et du Crétacé.

B.- Les formations Batéké

Elles forment l'essentiel des matériaux dans lesquels se sont individualisés les paysages actuels. La série des plateaux Batéké est traditionnellement subdivisée en deux niveaux :

1.- Les grès polymorphes (Ba1) comprennent des grès tendres à grain fin et régulier. Vers le sommet, apparaissent des niveaux silicifiés, quartzitiques, de couleurs variées, en bancs lenticulaires discontinus. Ces grès présentent une stratification entrecroisée et l'étude morphoscopique permet de leur attribuer une origine éolienne (LE MARECHAL, 1966). La puissance de cette série est variable, de 50 m à près de 300 m.

2.- Les sables ocres (Ba2), ou limons sableux, reposent en concordance sur les précédents, dont ils sont très proches de par leur constitution et leur granulométrie. Leur surface luisante est due à un façonnement aquatique, qui a eu pour conséquence de polir des marques de chocs éoliens plus anciens. Ils proviendraient donc d'une reprise lacustre des grès polymorphes. Leur puissance est variable, et augmenterait vers le Sud-Est : 40 m sur le plateau Koukouya, 90 m à Brazzaville (LE MARECHAL, 1966).

Pour COSSON (1955) et LE MARECHAL (1966), ces sables ocres sont transgressifs sur les grès polymorphes : ils reposent directement sur les grès de l'Inkisi, dans la région de Brazzaville. DADET (1969) estime, pour sa part, que les sables de la région brazzavilloise proviennent directement de la désagrégation des grès polymorphes. Les analyses que nous avons effectuées, à Gangalingo notamment, permettent d'attribuer, de façon définitive, ces sables, qui présentent des caractères très nets de reprise aquatique, au Ba2, et de nous rallier aux thèses de COSSON et LE MARECHAL (SCHWARTZ et RAMBAUD, 1983).

En l'absence de fossiles caractéristiques, si on excepte une trouvaille isolée (BABET, 1935), ces formations sont attribuées au Paléogène pour le Ba1, et au Néogène pour le Ba2. LE MARECHAL (1966) rapproche les grès polymorphes et le terme supérieur de la série du Stanley-Pool en raison de leurs caractéristiques très voisines.

C.- Caractéristiques du matériau sableux

1.- Introduction

Les formations sableuses à l'affleurement peuvent avoir deux origines : elles peuvent en effet provenir de la désagrégation des grès polymorphes, ou être issues directement des sables ocres plus ou moins remaniés. Nous ne traiterons, dans ces paragraphes, que des sables ocres. En effet, les prospections que nous avons effectuées nous ont montré que l'essentiel des affleurements, dont apparemment la totalité des matériaux constituant les loussékés, sont à attribuer au Ba2. Pour COSSON (1955), qui avait fait les mêmes observations, les loussékés résultent exclusivement du lessivage des sables ocres du Ba2. Ils pourraient donc "être localement un critère de leur présence".

Nous ne le suivrons pas dans cette voie, le rapport entre les sables ocres et les podzols n'étant pas direct (c'est-à-dire lié à la nature du matériau ; les sables issus du Ba1 sont peu différents des précédents), mais surtout lié à une apparente coïncidence entre la répartition géographique de ces formations et des loussékés : c'est dans les zones où sont présents ces sables que se trouvent, exclusivement semble-t-il, réalisées les conditions géomorphologiques ayant permis la formation des podzols. Il n'est toutefois pas exclu que des prospections plus systématiques fassent état de la présence de podzols dans les sables issus du Ba1.

2.- Caractéristiques générales

Les sables ocres forment un ensemble très homogène de couleur généralement jaune (10 YR 5/6 à 5/8).

La fraction inférieure à 50 μm (limons + argiles) représente de 5 à 25 % du matériau. Les limons sont minoritaires par rapport à l'argile, constituée presque exclusivement de kaolinite.

La fraction sableuse est entièrement formée de grains de quartz. Les minéraux lourds sont très rares : moins de 0,2 % (LE MARECHAL, 1966). Par ordre d'importance décroissante, on trouve de l'ilménite, de la staurotide, de la tourmaline, du zircon et du rutile.

3.- Granulométrie de la fraction sableuse.

Celle-ci est répartie de façon assez équilibrée, en sables fins (50-200 μm) et sables grossiers (200-2 000 μm). Les fractions comprises entre 90 et 500 μm représentent cependant au minimum 80 % du matériau, ce qui en fait un sable relativement fin.

L'hétérométrie (Hé) des sables varie de 0,40 à 0,75, mais 75 % des sables ont un coefficient Hé compris entre 0,52 et 0,66, ce qui caractérise un sédiment assez bien trié. La figure 5 représente une courbe typique, établie sur des sables de la zone des collines proches de Brazzaville.

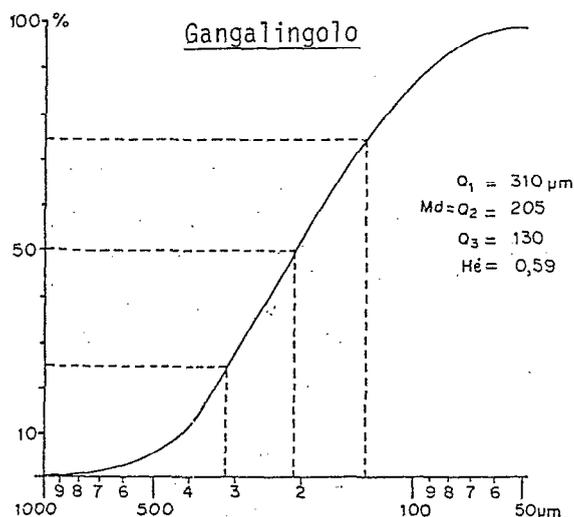


Figure 5.- Granulométrie des sables batéké ; exemple de courbe cumulative.

Le coefficient Hé (CAILLEUX et TRICART, 1959) varie en fonction du classement, ou degré de triage, du sable. Il est possible de le définir de la manière suivante : lorsqu'on construit, sur un papier semi-logarithmique, la courbe cumulative des différentes fractions sableuses, on peut définir trois quartiles, Q_1 , Q_2 , Q_3 , qui sont les abscisses dont les ordonnées correspondent respectivement à 25, 50, 75 % du matériau. Q_2 , également appelé médiane, Md, sépare le sédiment en deux fractions de poids égal. Hé correspond alors à la plus petite valeur ($Q_1 - Q_2$, $Q_2 - Q_3$). L'unité est la distance de doublement (par exemple : 50 \rightarrow 100 μm , 200 \rightarrow 400 μm , 300 \rightarrow 600 μm) constante dans les papiers

semi-logarithmiques, ce qui permet de s'affranchir des valeurs de Q_1 , Q_2 , Q_3 . Plus la courbe est redressée, plus le sable est bien trié, et plus les valeurs de H_e sont faibles.

Une caractéristique importante de ces sables est leur relative homogénéité (SCHWARTZ et RAMBAUD, 1983) :

* Homogénéité verticale, au sein des profils, même quand des phénomènes de remaniement sont manifestes (Voir 3ème partie de ce travail, où cet aspect sera plus longuement développé),

* Homogénéité spatiale : Les courbes que nous avons construites à partir de sables prélevés dans les zones de collines proches de Brazzaville pour certaines, de Gamboma pour les autres, sont tout à fait superposables à celles obtenues par LE MARECHAL (1966) dans les collines brazzavilloises, DENIS (1967) dans la région de Marchand (Missafou) et CAHEN et MORTELMANS (1973) au Zaïre, sur le Plateau des Batéké.

Il semblerait toutefois, d'après nos propres données et celles de LE MARECHAL (ce qui ne représente qu'une petite partie de la zone concernée), que les sables des Plateaux soient légèrement plus fins et mieux triés que ceux des collines.

4.- Morphoscopie

Le pourcentage de grains non usés (NU) est en général faible, et l'essentiel des grains est de type arrondi et émoussé. Le passage entre les grains ronds et émoussés étant continu, la répartition en deux groupes distincts est relativement aléatoire. C'est pourquoi, à l'instar de LE MARECHAL (1966), nous les avons regroupés en une seule catégorie, les émoussés et ovoïdes luisants", cet aspect luisant, preuve d'un façonnement par l'eau, étant la règle générale dans les échantillons que nous avons analysés. Un certain nombre de grains ont un aspect "moiré", c'est-à-dire à reflets changeants, chatoyants. Cet aspect a une origine chimique : il est dû à la présence de fines figures de dissolution à la surface des grains.

LE MARECHAL note, pour sa part, une proportion plus ou moins importante de ronds et arrondis mats, mais les grains luisants restent le plus souvent dominants. Les résultats de LE MARECHAL sont cependant, d'une manière générale, assez difficilement exploitables, de par leur localisation trop imprécise.

Le pourcentage de grains émoussés et ovoïdes luisants, très largement supérieur à 50 % dans les sables provenant du Ba2 (il dépasse même souvent 90 %) dénote d'une usure de type plage. En effet, celle-ci serait certaine dès que le pourcentage de grains luisants dépasse 30 % (CAILLEUX et TRICART, 1959).

5.- Exoscopie

Au cours d'une étude sur les sables de Gangalingolo (SCHWARTZ et RAMBAUD, 1983), nous avons procédé à l'analyse exoscopique des quartz de trois échantillons de sols : un horizon B de sol ferrallitique (GASC 300) servant

de témoin, un horizon A₂ de podzol hydromorphe (GASC 1-5) et un B_h aliotique (GASC 1-15). Sur chaque horizon, on a observé au MEB, douze fractions granulométriques : 50-80 µm, 80-100, 100-125, 125-160, 160-200, 200-250, 250-315, 315-400, 400-500, 500-800, 800-1 000, 1 000-2 000 µm.

a) Traces d'action mécaniques

De nombreuses traces de chocs éoliens ("v", croissants et cupules) apparaissent sur de très nombreux grains. Ces traces sont toutes extrêmement polies, ce qui dénote d'une importante reprise aquatique. Quelques traces de chocs de grandes tailles sont d'ailleurs à attribuer à cette reprise aquatique (cf. Planches photographiques en annexe).

Aussi bien ces traces éoliennes que le polissage aquatique sont à rapporter à des épisodes anciens, contemporains du dépôt (LE MARECHAL, 1966), au Paléogène et de sa reprise au Néogène.

Il n'y a pas, si l'on excepte quelques rares grains observés en morphoscopie, de traces de chocs fraîches, ce qui signifie entre autres qu'il n'y a pas eu de reprise éolienne au cours des derniers épisodes climatiques quaternaires, contrairement à ce qui s'est passé dans la région littorale (GIRESSE et LE RIBAUT, 1981) ; les surfaces de déflation offertes à l'action du vent n'ont certainement jamais été suffisantes pour une telle action.

b) Phénomènes chimiques

Les traces de dissolution sont nombreuses, mais réparties préférentiellement dans les traces de chocs qu'elles élargissent et approfondissent. Sur les faces planes n'apparaissent que des figures de dissolution triangulaire, ayant la même orientation générale, ce qui est très classique (LE RIBAUT, 1977).

Pour ce qui est de la précipitation, on peut déceler quelques globules de silice, mais jamais de figures plus importantes, de type "fleur", par exemple.

Contrairement à ce que l'on peut observer dans des podzols bien drainés (LEGIGAN et LE RIBAUT, 1974 ; DUCHAUFOR, 1954 et 1977), il n'y a que peu de différence entre les horizons A₂ et B_h. Une nappe circulante, fossile (B_h), ou actuelle (A₂), favorise plus l'élimination latérale de la silice que son accumulation.

De même, on observe peu de différences avec l'horizon B du sol ferrallitique. Là encore, la silice est, ou a été, préférentiellement éliminée dans ce milieu très lixiviant, pauvre en matière organique, à circulation d'eau très intense.

6.- Conclusion

L'analyse granulométrique, morphoscopique, exoscopique des quartz révèle une absence totale de marques de chocs fraîches : toutes les traces d'action mécanique sont à rapporter à des épisodes anciens, contemporains du dépôt des sédiments. Il en résulte que les remaniements quaternaires mis en évidence sont consécutifs à des déplacements, à faible distance, le long des versants, d'une masse de sol plus ou moins importante.

III.- LE CADRE PHYSIQUE

Les formations batéké s'étendent, au sud de l'Equateur, sur environ 80 000 km², au centre du pays (Figure 1). Elles se prolongent vers l'Ouest au Gabon, mais surtout sur l'autre rive du fleuve Congo, au Zaïre.

A.- Géomorphologie

Le pays batéké, du nom de l'ethnie qui l'occupe, s'individualise en deux ensembles très différents : les plateaux et les collines (Figure 1).

1.- Les plateaux

Ils n'occupent qu'une faible part de la superficie du pays batéké. On en distingue cinq, d'altitude, forme et superficie variables. Ils sont considérés comme des surfaces structurales pléistocènes. Leur pente générale est faible, inférieure à 3 %. Ils sont inclinés du S.O. au N.E., vers la Cuvette congolaise.

* Le plateau Koukouya, le plus petit, a une surface de 410 km² environ. Son altitude est comprise entre 886 et 800 m.

* Le plateau de Djambala a une surface de 1 000 km². Il s'échelonne entre 830 et 720 m d'altitude.

* Les plateaux de Nsa et de Ngo forment un ensemble de 4 000 km² de superficie. Leur altitude varie de 750 à 600 m.

* Le plateau de Mbé, ou plateau batéké sensu stricto, est le plus grand : 7 000 km². Son altitude oscille entre 760 et 600 m.

Ces plateaux sont séparés par des rivières importantes qu'ils surplombent de plusieurs centaines de mètres : Lékéti, Mpama, Nkéni, Léfini. Leur bordure est soulignée par d'imposantes falaises de grès polymorphes.

La surface des plateaux est assez uniformément plane. Quelques accidents de relief les affectent cependant :

(a) des dépressions fermées sont présentes, surtout vers les bords des plateaux. On peut en distinguer plusieurs types :

- certaines sont peu profondes, 2-3 m au maximum, et ont de 100 à 600 m de diamètre. Elles sont souvent hydromorphes, au moins à la saison des pluies. Certaines sont occupées par des podzols (cf. chapitre suivant).
- d'autres sont des pseudo-dolines, le plus souvent sèches, pouvant dépasser 800 m de diamètre et 15 m de dénivellé.

DE PLOEY (1965) attribuait à ces dépressions une origine éolienne (hypothèse qui est infirmée par l'absence de caractère éolien du sable (SCHWARTZ et RAMBAUD, 1983). Leur origine est plutôt à mettre en relation avec des phénomènes de soutirage (CAHEN et LEPERSONNE, 1948 ; BOQUIER et De BOISSEZON, 1959), voire de dissolution comme ceux mis en évidence par HUMBEL (1964) en Côte d'Ivoire, ce qui expliquerait leur localisation préférentielle en bordure de plateaux.

(b) On trouve également, mais surtout sur le plateau de Mbé, des réseaux de vallées sèches. Le plus bel exemple de telles vallées se trouve localisé au S.O. de ce plateau, où elles ont été étudiées par GUILLOT et PEYROT (1979). Ces vallées, aux formes relativement vives malgré l'absence d'écoulement, ont un fonctionnement de type cataclysmique : l'eau n'y circule que très rarement, lors de pluies centenaires ou millénaires.

2.- Les collines

Elles reflètent, de par leurs formes, la composition sableuse du matériau : il s'agit de vastes croupes, fortement arrondies, et aux pentes raides, qui composent un paysage très typé.

Il est possible de subdiviser ces collines en plusieurs sous-ensembles :

* Les hautes collines encadrent les Plateaux. Leur altitude est à peine inférieure à celle de ces derniers : entre 800 et 600 m. Il s'agit, en fait, d'anciens prolongements des plateaux, découpés par l'érosion. D'après LE MARECHAL (1966), le sable qui les compose provient de la désagrégation des grès. D'ailleurs, localement, des affleurements de grès sous forme de falaises plus ou moins nettes, rappellent cette origine.

* Les basses collines ont une altitude inférieure à 600 m. Vers le Nord, elles forment des reliefs de plus en plus évasés, qui viennent mourir dans les grandes vallées alluviales de la Cuvette congolaise. Vers le Sud, elles composent les collines de l'Ouest de Brazzaville, qui reposent directement sur un soubassement de grès Inkisi. Le matériau est le sable ocre, transgressif sur les grès polymorphes, mais très certainement aussi remanié

Ces collines sont entaillées par une multitude de cirques d'érosion, pour la plupart stabilisés par la végétation ; ces cirques, de taille variée, ont un fonctionnement et une formation complexe (SAUTTER, 1970).

B.- Hydrologie

1.- Zone des Plateaux

Il n'y a, sur les Plateaux, aucun écoulement permanent. Seuls quelques marais ont un exutoire temporaire lors de pluies exceptionnelles. La présence d'eau à la surface des plateaux est donc consécutive à l'existence des dépressions fermées, dont un bon nombre ne sont engorgées qu'à la saison des pluies.

Les eaux de surface sont donc une denrée assez rare sur les plateaux. Des lentilles plus imperméables dans les grès permettent, à des profondeurs de quelques dizaines de mètres, l'existence de nappes perchées, d'extension réduite, qui se manifestent sur les flancs des plateaux par des suintements ou des sources (LE MARECHAL, 1966 ; ASTIER, 1982).

2.- Zone des collines

Les hautes collines sont compartimentées par un réseau très dense et très encaissé de vallées sèches, à écoulement très intermittent.

Par contre, dans les basses collines, les cours d'eau sont permanents. Quelques grandes rivières, au débit dépassant la centaine de m³/s (ORSTOM, 1982), drainent l'ensemble du réseau hydrographique vers le Congo : au nord vers la Cuvette, au sud vers le Stanley-Pool. Une très faible partie des précipitations est drainée vers le bassin versant de l'Ogooué. Ces rivières (Léfini, Mpama, Alima, Nkéní) ont un débit relativement régulier ; les formations batéké constituent une vaste réserve d'eau, qui s'écoule de façon relativement continue. En raison de la nature poreuse du matériau, leur régime reflète l'influence prépondérante de l'infiltration au détriment du ruissellement.

IV.- LES DIFFERENTS TYPES DE SOLS

Les sols sont répartis dans trois classes différentes : on trouve ainsi des sols ferrallitiques, des podzols et des sols hydromorphes.

A.- Les sols ferrallitiques

Les sols ferrallitiques développés sur ces matériaux sableux sont des sols relativement homogènes et profonds, où l'horizon B oxisque est peu différencié de la roche-mère. En raison de la grande pauvreté en minéraux altérables du matériau, le caractère "ferrallitique" est lié à la présence de la kaolinite.

Ils sont très fortement désaturés ; leur teneur en argile varie entre 4 et 25 %, suivant leur position le long des pentes, qui induit un lessivage oblique plus ou moins important, et la teneur initiale en argile du matériau. Leur nature sableuse, ou sablo-argileuse, en fait des sols légers, à bonne porosité, mais leur confère une grande pauvreté chimique : ils sont fortement carencés, aussi bien en éléments majeurs qu'en oligoéléments. Leur structure est microagrégée ("fluffy").

La présence d'une couverture végétale forestière aboutit à la formation d'un faciès podzolique (cf. Introduction), qui se juxtapose au faciès modal sous savane.

Lorsque la teneur en sables dépasse 90 %, certains pédologues classent ces sols dans le groupe des sols ferrallitiques psammitiques (DENIS, 1974), groupe qui n'est pas officiellement reconnu en France, mais qui a l'avantage de tenir compte des propriétés particulières de ce type de sol.

Les sols des plateaux Koukouya et Djambala s'opposent aux autres par un taux d'argile plus élevé (35 %), un taux plus élevé de matière organique (lié à l'altitude moyenne supérieure de ces plateaux), et une richesse chimique un peu meilleure (De BOISSEZON, 1963).

B.- Les sols hydromorphes

Les sols hydromorphes sont liés aux zones marécageuses des dépressions sur les plateaux et des vallées alluviales dans les collines.

Ils sont extrêmement hétérogènes et varient rapidement en fonction du degré d'engorgement, qui joue en particulier sur le type et la teneur en matière organique.

C.- Les podzols

Les podzols sont ici cités pour mémoire, car ils font l'objet de la suite de ce travail. Ils sont également liés, ainsi qu'on le verra, au réseau hydrographique.

V.- LES FORMATIONS VEGETALES

La végétation des plateaux batéké a fait l'objet d'une étude synthétique relativement récente (MAKANY, 1976).

La formation végétale la plus représentée est, de loin, la savane plus ou moins arbustive, qui caractérise de façon assez uniforme l'ensemble du pays Batéké.

A.- Les savanes

1.- Les formations herbacées hautes

L'ensemble des plateaux est caractérisé par un groupement à *Trachypogon thollonii* (Graminées) et *Annona arenaria* (Annonacées). Il est possible de définir deux sous-groupements : le premier, caractérisé par *Hypparrhenia diplandra* (Graminées) et *Bridelia ferruginea* (Euphorbiacées) caractérise les sols plus argileux, tandis que le second, à *Loudetia demeusii* (Graminées) et *Hymenocardia acida* (Euphorbiacées) est typique des sols plus sableux (MAKANY, 1976).

Dans les collines, les savanes appartiennent au groupement à *Andropogon schirensis* (Graminées). Différentes formes peuvent également être distinguées (KOECHLIN, 1961). La savane à *Loudetia arundinacea* (Graminées) caractérise les sols les plus riches en argile des sommets des basses collines. La savane à *Loudetia demeusi* est la plus répandue. Elle est typique des sols développés sur les sables ocres. Dans les sols les plus sableux de cette formation, et sur les sols des hautes collines développées dans le Ba1, apparaît la forme à *Trachypogon tholloni*.

La proportion de la strate arbustive des savanes est variable, toujours faible, quelquefois inexistante.

2.- Les formations herbeuses basses, ou steppes, caractérisent des milieux très particuliers, sableux, podzoliques. Ces steppes seront caractérisées ultérieurement.

B.- Les forêts

Les forêts présentent également des aspects variés. Sur les plateaux, elles sont réduites à la portion congrue : boqueteaux, bosquets souvent d'origine anthropique, forêts mésophiles plus ou moins dégradées et secondarisées occupent environ 5 % de la surface (MAKANY, 1976). Ces types de forêts se retrouvent également dans les zones de collines, où elles sont cependant minoritaires par rapport aux forêts-galeries, qui bordent les cours d'eau : forêts marécageuses et forêts ripicoles sont les deux formes les plus représentées.

Bien que l'essentiel de la végétation soit de la savane, de nombreuses observations montrent que le climax est forestier (KOECHLIN, 1961). Nos propres prospections nous ont montré, dans de nombreux cas, l'avancée des forêts-galeries ; celles-ci recouvrent des arbustes de savane, qui dépérissent dans ce milieu, hostile pour eux, mais qui témoigne du dynamisme actuel et général de la forêt.

L'origine de cette situation est à rechercher dans les nombreux brûlis qui affectent la végétation. La savane a ainsi une valeur de "paraclimax", ou "fire-climax" (KOECHLIN, 1961 ; Cf. également Chapitre III).

VI.- LE CADRE CHRONOLOGIQUE DE LA FIN DU QUATERNAIRE (Tableau IV)

Ce cadre est relativement bien connu, grâce à la chronologie relative établie par DE PLOEY (1963) et DE PLOEY et Van MOORSEL (1963, 1966), complétée ultérieurement par l'introduction de datations absolues (DE PLOEY, 1969 ; GIRESE et al., 1981).

Ce tableau a été tracé à partir de la succession des événements connus dans le Stanley-Pool, d'indices de nature archéologique, de corrélations avec les phénomènes eustatiques du littoral congolais, avec l'évolution climatique générale de l'Afrique, dont les phases paraissent de plus en plus en harmonie avec des événements bien connus en Europe.

Tableau IV.- Contexte paléoclimatique de la fin du Quaternaire.

Chronologie	Tendance climatique		Principaux événements	Industries
	humide ←	→ aride		
SUBACTUEL 500 ?		/?	Influences anthropiques	Age du fer Néolithique
Assèchement relatif ----- 3 000			Influences anthropiques - Terrasses immergées dans le Stanley-Pool.	2 000
KIBANGIEN 12 000		humide	Reprise forestière - entaillement de la terrasse de + 7 m dans le Stanley-Pool. Transgression sur le littoral (NOUAKCHOTIEN). Mangrove.	TSHITOLIEN
LEOPOLDVILLIEN a b c ≈ 30 000		18 000 aride	Savanisation, steppisation au Leopoldvillien b (centré sur 18 000 BP). Dépôt de la terrasse de 7 m dans le Stanley-Pool. Sur le littoral, régression marine (OGOLIEN), cordons dunaires.	LUPEMBIEN
NJILIEN ≈ 40 000		humide	Reprise forestière - entaillement de la terrasse de 20 m. Transgression marine sur le littoral (INCHIRIEN). Mangrove	-
MALUEKIEN 70 000 ?		(semi) aride	Savanisation - Dépôt de la terrasse + 20 m dans le Stanley-Pool. Régression marine sur le littoral. (PRE-INCHIRIEN).	Stanley-Pool I Stanley-Pool II = SANGOEN

D'après GIRESSÉ (1978), GIRESSÉ et al. (1981) et LANFRANCHI (1984).

Les incertitudes sont toutefois encore nombreuses, notamment en ce qui concerne le Maluekien, qu'aucune méthode ne permet de dater. Toutefois, le tableau précédent peut être considéré, dans l'état actuel des connaissances, comme très probable.

Cinq phases climatiques différentes peuvent être mises en évidence au cours des 70 derniers millénaires :

* De 70 000? à environ 40 000, le Maluekien est une phase climatique à tendance sèche, caractérisée par une terrasse à environ 20 m au-dessus du Stanley-Pool actuel. Cette période aurait été également marquée par une importante érosion en nappe. Elle est relativement mal connue en raison de la rareté des indices qui peuvent lui être rapportés, et de l'impossibilité de se servir du carbone-14 comme marqueur. Le début de cette période pourrait toutefois être corrélé avec la fin de l'Eemien (70 000 B.P.), ou de l'interstade de Brorup (60 000 B.P.) (GIRESSÉ, 1978), bien connus en Europe.

* De 40 000 à environ 30 000, le NJILIEN marque une reprise humide. Cet épisode se caractérise par l'entaillage de la terrasse de 20 m, par une reprise forestière, ainsi que par une pédogénèse ferrallitisante (PEYROT, 1978). Au niveau du littoral lui correspond une transgression.

* De 30 000 à 12 000, le Léopoldvillien est une période à tendance sèche, avec même, vers 20 000-18 000 (Léopoldvillien b) des phases semi-arides. Il est caractérisé par le dépôt d'une terrasse de 7 m dans le Stanley-Pool. Les caractéristiques du dépôt impliquent un écoulement du fleuve Congo vers le Nord, donc en sens inverse de l'actuel (LEBEDEFF, 1933 ; NICOLINI, et SONET, 1953 ; GIRESSSE et al., 1981). D'un point de vue pédogénétique, des phases de silicification nettes ont été distinguées sur le littoral (GIRESSSE et LE RIBAUT, 1981). D'autres, plus discrètes, ont été observées dans la Cuvette et sont également à attribuer à cette période (DELIBRIAS et al., 1983).

* De 12 000 à 500?, le Kibangien est une période humide, marquée par l'entaillage de la terrasse de 7 m, ainsi que, vraisemblablement, l'inversion du cours du Congo, l'abaissement du niveau de base qui en découle, ainsi que par une reprise de la ferrallitisation. La première partie du Kibangien, de 12 000 à 3 000? aurait été nettement plus humide que la seconde.

* Enfin, depuis 500?, le Subactuel verrait deux tendances climatiques différentes : au sud du Congo, une tendance à l'assèchement (LANFRANCHI, 1976, 1978 ; PEYROT, 1978), tandis que dans la partie nord du pays, on assisterait à la poursuite d'un pluvial qui se manifesterait par une reprise forestière sur les plateaux Batéké. Certains auteurs font remonter le Subactuel à 2 000 B.P. (Néolithique).

Quelques incertitudes subsistent en ce qui concerne le début du Léopoldvillien, que PEYROT (1978) fait remonter à 38 000, GIRESSSE et al. (1981) à 20 000, DELIBRIAS et al. (1983) à 30 000. Il semble, à la lumière des travaux les plus récents, que ce soit vers 30 000 qu'ait eu lieu le renversement climatique Njilien-Léopoldvillien. Nous verrons ultérieurement en quoi ce travail peut apporter des précisions.

Par contre, le début du Kibangien a pu être précisément daté à 12 000 B.P. par d'importantes variations de la sédimentation au large de l'embouchure du Congo (GIRESSSE et al., 1982).

Il faut cependant avoir présent à l'esprit, que le passage d'une période à une autre n'est ni immédiat, ni simultané, et que des écarts liés à la distance géographique peuvent exister d'un point à un autre.

CHAPITRE II

LE LOUSSÉKÉ, UNITÉ DE PAYSAGE

I.- LE CONCEPT DE LOUSSEKE

A.- Définition et origine

Le mot lousséké désigne, en kitéké, une petite graminée, *Loudetia simplex*, caractéristique des sols très sableux et particulièrement abondante dans les sols podzolisés et hydromorphes. D'après BABET (1933), les Batéké désignent également sous ce terme vernaculaire les unités de paysage où croît cette herbe. En fait, ce vocable ne semble pas - actuellement tout au moins - être associé à une unité de paysage, et il est vraisemblable que ce soit à la suite d'une incompréhension ou d'une erreur de traduction que BABET à lui-même baptisé ainsi ces paysages, dont il serait ainsi "l'inventeur". Quoi qu'il en soit, ce terme a été adopté par les géologues, géomorphologues, pédologues, botanistes, qui ont travaillé au Congo. Par contre, il ne semble pas avoir été employé au Zaïre, si l'on excepte une publication de LEPERSONNE (1937).

B.- Des significations très différentes

L'utilisation de ce terme par des spécialistes de disciplines très différentes montre qu'il est d'un emploi facile et général, ce qui traduit une certaine cohérence du paysage. Pourtant, ce terme de lousséké recouvre des concepts très différents, liés aux approches particulières privilégiées par ces disciplines.

1.- Dans l'esprit de la plupart des géologues, l'unité de paysage évoque essentiellement la succession de deux strates : une couche de sables blancs provenant de la décomposition de grès tendres, et qui surmonte un niveau de grès humiques (LEPERSONNE, 1945 ; BAUD, 1954 ; LADMIRANT, 1964 ; CHEVALLIER et al., 1972). Elles correspondent respectivement aux horizons A₂ et aux B_h, généralement indurés en alios.

Cette façon de voir, qui caractérise surtout des travaux anciens, est liée à une méconnaissance totale des phénomènes pédologiques, accentuée par les caractéristiques de la répartition des loussékés : ceux-ci sont surtout situés dans les parties inférieures des talwegs, à des altitudes assez analogues d'une vallée à l'autre, et il est alors facile d'en faire un niveau géologique général, affleurant en fond de vallée lorsqu'il est entaillé par les cours d'eau.

2.- Certains géomorphologues et préhistoriens ont également procédé d'une démarche analogue : il s'agit de couches géologiques, mais formées ou remaniées au Quaternaire (LEPERSONNE, 1937 ; DE PLOEY, 1965). Les niveaux organiques sont parfois assimilés à d'anciennes surfaces de sols (CAHEN et MORTELMANS, 1973).

3.- Pour les botanistes, le mot de lousséké évoque deux choses : une espèce, *Loudetia simplex*, et un type de végétation steppique, présentant des groupements différents, mais où *Loudetia simplex* abonde ou domine (DESCOINGS, 1960 ; KOECHLIN, 1961). Cette végétation caractérise un sol sableux, blanc.

4.- Enfin, pour les pédologues, le lousséké définit un ensemble de sols podzolisés associés à une végétation steppique, et situés, le plus souvent, en position de bas-fonds. Une tendance actuelle tend à substituer l'aspect hydromorphie à l'aspect botanique : on parle de loussékés secs (où la végétation n'est pas forcément une steppe lousséké) et de lousséké hydromorphe. C'est alors, de façon assez logique, le sol qui sert de référentiel.

Ainsi donc, le terme de lousséké recouvre actuellement quatre définitions différentes, ce qui ne peut que prêter à confusion :

- une plante,
- une association végétale,
- un ensemble de sols podzolisés, caractérisés par leur degré d'hydromorphie,
- une unité de paysage à podzols et steppe graminéenne.

C.- Historique des travaux

Abordés sous l'angle pédologique, on peut schématiquement séparer les travaux sur les loussékés en trois périodes bien distinctes (SCHWARTZ, 1982) :

1.- Une période de découverte, au cours de missions de reconnaissance. Ce furent les géologues qui recueillirent les premières données (BABET, 1933 et 1937), relayés à partir des années 1950, par les pédologues de l'ORSTOM. Ainsi qu'on l'a vu, la plupart des géologues ont considéré que les loussékés

correspondaient à deux couches géologiques différentes, conception erronée provenant d'une méconnaissance des phénomènes pédologiques. Toutefois, BABET estime, dès 1933, que l'origine des "grès humiques" est comparable à celle des alios des Landes et du Bassin Parisien. Quant à De HEINZELIN (1952), il s'intéresse à leur évolution historique et estime qu'ils ne sont plus soumis aux conditions qui leur ont donné naissances.

Les pédologues se rendent compte que c'est l'hydromorphie qui a guidé l'évolution de ces sols, dont ils font des sols hydromorphes et des pseudopodzols de nappe (BOCQUIER et De BOISSEZON, 1959 ; De BOISSEZON, 1963).

Cette période est essentiellement descriptive. Il n'y a pas, ou très peu, d'analyses effectuées (LEPERSONNE, 1937, qui donne une analyse totale sur un alios ; De BOISSEZON, 1963).

2.- Une période de cartographie, à partir des années 1965, correspond à une évolution générale de la pédologie. La carte pédologique devient le document de base. C'est l'occasion d'étudier la répartition des sols dans le paysage à grande échelle, à partir de zones témoins, de toposéquences. Le passage des sols ferrallitiques aux podzols est ainsi analysé en fonction de la topographie (De BOISSEZON et JEANNERET, 1965 ; De BOISSEZON et GRAS, 1970 : Figure 6). Cependant, en raison de l'échelle du document final (1/200 000 et 1/500 000), les podzols n'apparaissent jamais en unités pures. D'autre part, seules des analyses simples sont effectuées sur ces sols.

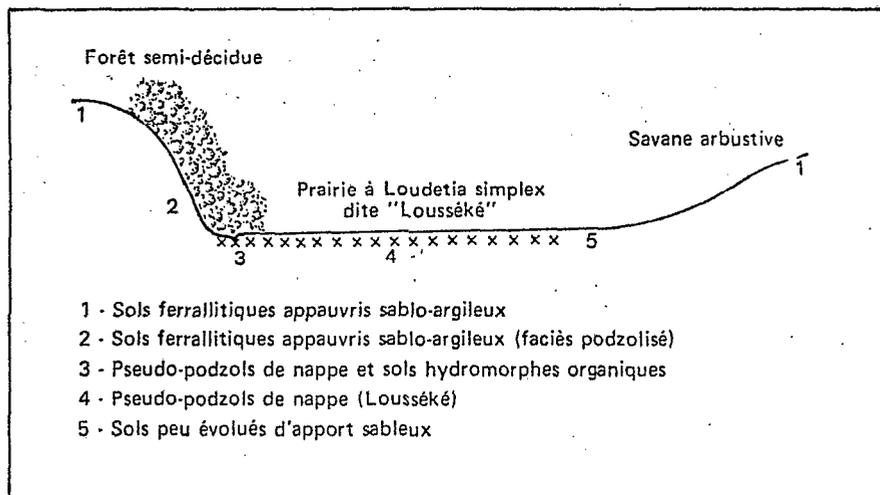


Figure 6.- Chaîne de sols dans les vallées sableuses (repris de De BOISSEZON, et GRAS, 1970)

N.B. : Les "sols peu évolués d'apports sableux" (unité 5) sont en fait des paléo-podzols hydromorphes, que De BOISSEZON appelle indifféremment "peu évolués" ou "peu différenciés" (1965), car "on ne voit pas quelle peut être l'évolution d'un matériau purement sableux". DENIS et De CHAMPS (1970) considèrent par contre qu'il s'agit de sols hyper-évolués. Les zones 3 et 4 correspondent au lousséké hydromorphe ; la zone 5 au lousséké sec.

3.- Une période de réflexion : La cartographie au 1/200 000 de Gamboma (LE COCQ et BOSSENO, 1983) a été l'occasion pour LE COCQ de faire des observations poussées sur la répartition des podzols et d'émettre des hypothèses sur leur genèse. Pour cet auteur, leur étude ne peut se faire sans l'insérer dans le contexte du Quaternaire récent.

Ce sont en effet les variations paléoclimatiques et paléogéomorphologiques qui permettent d'expliquer les différences de morphologie et de répartition des sols. Ces hypothèses, exposées pour le moment sous forme provisoire (LE COCQ, 1980, document à diffusion restreinte), souffrent cependant de l'absence d'un support analytique.

II.- LES CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES DES LOUSSEKES

A.- Deux sous-unités : le lousséké sec et le lousséké hydromorphe

1.- Définition

Trois critères sont fondamentaux pour définir les loussékés : Le degré d'hydromorphie, le type de végétation, les sols. Les deux derniers sont évidemment liés au gradient d'hydromorphie, de telle sorte que celui-ci, prépondérant, permet de distinguer deux sous-unités suivant l'importance de l'engorgement : le lousséké sec, où la nappe d'eau n'atteint jamais les horizons supérieurs du sol, et le lousséké hydromorphe, où existe une nappe semi-permanente, affleurant temporairement.

2.- Hydromorphie

Dans les loussékés hydromorphes, la nappe affleure en surface pendant toute la saison des pluies et disparaît pratiquement en totalité pendant la saison sèche. Elle bat donc d'une façon importante, au rythme des saisons (cf. Chapitres IV et V).

Pour autant que nous ayons pu en juger dans la région de Brazzaville, le plancher de cette nappe est constitué par l'aliôs : il s'agit donc d'une nappe perchée. C'est également ce qu'ont noté De BOISSEZON et BOCQUIER (1959) au sujet des loussékés des Plateaux. Dans la Cuvette congolaise, LE COCQ (1980 et communication personnelle) fait remarquer que de nombreux loussékés sont apparemment sans aliôs : la nappe est alors la nappe générale, qui alimente les cours d'eau, et son plancher serait constitué par une roche sous-jacente moins perméable que les sables. Ce cas de figure n'est cependant pas une règle générale, puisque les aliôs sont également très fréquents dans cette zone de la Cuvette.

Dans les loussékés secs, la nappe n'affleure jamais, même à la saison des pluies, dans les horizons A₁ et la partie supérieure des horizons A₂. Dans bon nombre de cas, elle est pratiquement inexistante, ou ne baigne que sur quelques dizaines de centimètres au maximum la base de l'horizon A₂. Son influence sur l'évolution de la matière organique des horizons A₁ et sur la végétation graminéenne, dont l'appareil racinaire est réduit, est très faible ou nulle.

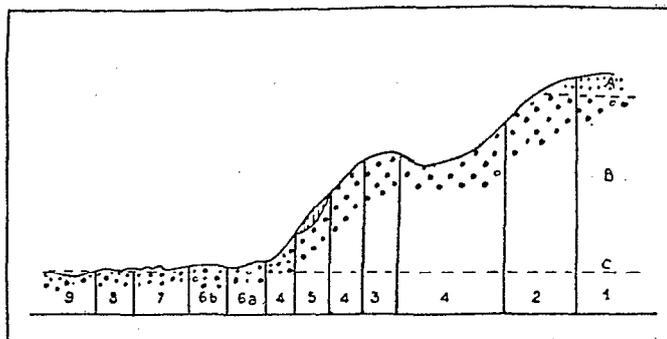


Figure 7.- Chaîne de végétation dans les vallées sableuses (KOECHLIN, 1961).

- A. Limons sableux (sables luisants-limpides)
 B. Grès polymorphes (sables ronds-mats)
 C. Niveau moyen de la nappe phréatique pendant la saison des pluies.

1. Savane à *Loudetia arundinacea*
2. Savane à *Trachypogon thollonii*
3. Forme à *Elyonurus brazzae* de la savane à *L. demeusi*
4. Savane à *Loudetia demeusi*
5. Forme à *Loudetia simplex* de la savane à *L. demeusi* (ravines d'érosion)
6. Prairie à *Loudetia simplex* : a) avec des éléments de 4
b) avec des éléments de 7
7. Tourbière à *Hypogynium spathiflorum*
8. Sphaignes et *Panicum parvifolium* en eau peu profonde
- 9 Mare centrale à *Cyrtosperma senegalensis*, *Eleocharis* spp.

Tableau V.- Trois relevés floristiques dans des Toussékés (KOECHLIN, 1961)

Espèces	Relevés		
	N°1	N°2	N°3
<i>Loudetia simplex</i>	5	5	5
<i>Monocymbium cerasiforme</i>	3	2	3
<i>Rytachne rotboelliioides</i>	+	+	1
<i>Ctenium newtonii</i>	+	+	+
<i>Schizachyrium thollonii</i>	+	+	+
<i>Andropogon huillensis</i>	+	+	+
<i>Elyonurus brazzae</i>	+	+	+
<i>Loudetia demeusi</i>	+	+	+
<i>Digitaria brazzae</i>	+	+	+
<i>Loudetia phragmitoides</i>	+	+	+
<i>Panicum parvifolium</i>	+	+	+
<i>Tristachya nodiglimis</i>	+	+	+
<i>Bulbostylis laniceps</i>	+	1	1
<i>Cyperus tenax</i>	+	+	+
<i>Parinari pumila</i>	+	+	+
<i>Thesium filipes</i>	+	+	+
<i>Burmannia bicolor</i>	+	+	+
<i>Lycopodium cernuum</i>	+	+	+
<i>Mesanthemum radicans</i>	+	+	+
<i>Ochna arenaria</i>	+	+	+
<i>Osbeckia senegambiensis</i>	+	+	+
<i>Tephrosia bracteolata</i>	+	+	+
<i>Cyanotis dybowskii</i>	+	+	+
<i>Dolichos carysanthus</i>	+	+	+
<i>Eriosema glomeratum</i>	+	+	+
<i>Eulophia cf. cariciifolia</i> (LDC)	+	+	+
<i>Eulophia milescii</i>	+	+	+
<i>Gladiolus unguiculatus</i>	+	+	+
<i>Helichrysum mechoanum</i>	+	+	+
<i>Sphenostylis stenocarpa</i>	+	+	+
<i>Vausageia africana</i>	+	+	+
<i>Xyris imitatrix</i>	+	+	+

Les espèces de la tourbière pénètrent assez loin dans la prairie à *Loudetia*, en particulier *Mesanthemum radicans* et *Xyris imitatrix*. *Ctenium newtonii*, par contre, est une des espèces de la savane, qui apparaît en premier, suivie de près par *Digitaria brazzae*, *Hyparrhenia familiaris*, *Elyonurus brazzae* et par des espèces non graminéennes : *Cyperus angolensis*, *Cyperus compressus*, *Landolphia thollonii*, *Ochna arenaria*, *Parinari pumila*.
Loudetia demeusi s'installe enfin, puis les premiers arbustes.

Ces deux unités élémentaires peuvent être présentes l'une à l'exclusive de l'autre, ou bien simultanément. On a alors un lousséké mixte, dont la partie sèche, toujours située à une altitude supérieure à celle de la zone hydromorphe, fait transition vers les sols ferrallitiques (Figure 6) : le lousséké de Gangalingolo, étudié plus en détail dans la seconde partie, en est un bon exemple. Dans ces loussékés mixtes, la zone hydromorphe est la plus développée.

Pour expliquer ces différences d'hydromorphie entre loussékés secs et hydromorphes, il est nécessaire de faire appel à des phénomènes multiples qui restent à approfondir. Les loussékés secs sont en général situés à des altitudes relatives plus élevées au-dessus des cours d'eau que les loussékés hydromorphes, ce qui facilite leur drainage externe par rapport à ces derniers.

D'autre part, il nous semble que les horizons A₂ des loussékés secs sont, d'une façon assez générale, plus épais que ceux des loussékés hydromorphes, ce qui peut également expliquer que la nappe n'affleure pas dans les horizons de surface : une même quantité d'eau peut être suffisante pour imprégner, par exemple, un mètre de sol (on a alors un lousséké hydromorphe), mais insuffisante pour trois mètres (lousséké sec). Cette observation de terrain reste cependant à confirmer sur un grand nombre de cas.

Ces facteurs ne sont cependant pas toujours suffisants pour expliquer ces différences. A Gangalingolo, par exemple (Chapitres IV et V, et cartes en annexe), les horizons A₂ des zones sèches et hydromorphes ont la même épaisseur, leur altitude relative et absolue est la même, leur pente également. Un autre facteur entre alors en ligne de compte : c'est l'origine de la nappe d'eau et la complexité de sa circulation. Dans le cas précis de Gangalingolo, il est net que la zone la plus humide reçoit des apports d'eau importants par des sourcins et non pas seulement par les précipitations directes.

Ainsi donc, si la différence d'altitude relative au-dessus de cours d'eau, plus importante dans le cas des loussékés secs, et provoquée par l'enfoncement plus ou moins important du niveau de base local, explique en grande partie la différenciation en loussékés secs et hydromorphes, d'autres facteurs stationnels peuvent accentuer, ou au contraire atténuer, ces différences, en particulier dans les loussékés mixtes.

3.- Végétation

La végétation des loussékés est décrite, de façon assez générale, comme une steppe graminéenne, de taille basse (inférieure à 60 cm), dépourvue d'essences ligneuses.

Au Zaïre, DUVIGNEAUD (1949), distinguait deux groupements différents :

* Le CTENIO-PARINARIETALIA LATIFOLIAE, groupement des steppes à sol sec, présente une alternance saisonnière de végétation : végétation de saison des pluies à dominante graminéenne (*Loudetia simplex*, *Loudetia demeusii*, *Ctenium newtonii* ...), végétation de saison sèche à dominance de géophytes non graminoides (*Parinari latifolium*, *Anisophyllea dichostyla* ...).

* Le TRISTACHYO-SYZYGIETALIA HUILLENSIS est le groupement des prés tourbeux sur sols oligotrophes et humifères. Ce groupement présente également une alternance de végétation, mais à dominante graminéenne dans les deux cas : *Loudetia simplex*, *Monocymbium ceresiiforme* en saison des pluies, *Tristachya*, *Eragrostis*, *Aristidae* en saison sèche. Ce groupement à *L. simplex*, *M. ceresiiforme*, auquel il convient d'ajouter *Bulbostylis laniceps*, est le groupement typique ("steppe lousséké") des loussékés hydromorphes.

Les deux groupements sont réunis par DUVIGNEAUD dans une classe appelée CTENIO-LOUDETIA SIMPLICIS. DESCOINGS (1960) a étudié les loussékés hydromorphes de la zone de Gakouba (dite : "km 45", Figure 2). Il relève quelques caractéristiques essentielles de la végétation :

- une grande diversité des groupements écologiques, qui se développent sur des superficies généralement restreintes, et une richesse floristique de l'ensemble de la végétation. Toutefois, il nous semble que cette affirmation est à nuancer : en effet, cette diversité est due aux groupements des "marges" des loussékés : marges externes, avec la savane de bordure ; marges internes, avec la présence de nombreuses petites zones tourbeuses. Le lousséké sensu stricto est défini par un groupement ne comprenant en général qu'une dizaine d'espèces au maximum (steppe lousséké).

- une grande sensibilité de la végétation aux variations dans l'espace des facteurs édaphiques, topographie et hydromorphie en particulier. C'est cette sensibilité qui se traduit par la diversité des groupements.

- une très étroite corrélation entre les divers groupements et les caractères du sol. Toute accentuation de l'hydromorphie amène la substitution d'un groupe à un autre.

Il s'ensuit que la faible amplitude bio-écologique des espèces a pour conséquence d'en faire d'excellentes indicatrices des conditions pédologiques, que DESCOINGS omet cependant de préciser.

KOECHLIN (1961) aborde l'étude des loussékés dans le cadre d'un ouvrage de synthèse sur les savanes du Congo. Il y donne notamment la succession des groupements dans l'espace, du plus hydromorphe (groupement d'eau libre) au plus xérophile (groupement de la savane arborée de bordure), ainsi qu'une chaîne de végétation typique (Figure 5 et Tableau V).

Pour cet auteur, "les conditions très particulières qui règnent dans ces stations (pauvreté du sol, variation du plan d'eau, engorgement du sous-sol) permettent de penser que la prairie à *Loudetia simplex* représente le climax". On verra au chapitre suivant que cette affirmation est peut-être à moduler.

MAKANY (1976) estime que la biomasse végétale des loussékés est de 3-4 tonnes par hectare. Ces chiffres nous paraissent a priori élevés pour cette végétation de taille basse, formée de graminées à l'appareil végétatif réduit, et dont le recouvrement au sol est faible : 10 à 40 %. Ce serait alors la technique employée : répétition de 20 placettes de 0,25 m², peu adaptée lorsque le recouvrement est faible, qu'il faudrait remettre en cause.

Il est possible de compléter ces données par les remarques suivantes : lorsqu'on considère les loussékés en tant qu'unité de paysage, celle-ci est loin d'être caractérisée uniformément par cette steppe à *Loudetia*. Dans le cas des loussékés hydromorphes, celle-ci (steppe lousséké sensu stricto) occupe certes la majeure partie de l'unité, mais les nombreuses petites mares à groupement d'eau libre qui parsèment les loussékés, les points bas à végétation de tourbière, les forêts-galeries qui s'étirent le long des exutoires, font partie intégrante du paysage, occupent les mêmes types de sols, même si, pour les botanistes, il s'agit d'unités phyto-écologiques différentes. Il n'y a donc pas équivalence entre le lousséké, unité de paysage, et le lousséké, unité phyto-écologique. Pour éviter les confusions, il suffit, dans ce dernier cas, d'utiliser le terme de "steppe lousséké", correspondant donc au groupement à *Loudetia simplex*, *Monocymbium ceresiforme*, *Bulbostylis laniceps*, groupement-clé de l'unité de paysage.

Dans les loussékés secs, la situation devrait a priori être plus simple : en effet, l'absence de gradient d'hydromorphie tend à homogénéiser les facteurs édaphiques. Pourtant, le couvert végétal est relativement varié. Si on rencontre effectivement assez souvent une steppe sèche à *Loudetia simplex* et *Ctenium newtonii*, il est également fréquent d'observer une savane à *Loudetia demeusii* plus ou moins arbustive, très semblable à celle qui croît sur les sols ferrallitiques psammitiques. Enfin, dans quelques rares cas, cette végétation est remplacée par une forêt secondaire. Il est alors difficile d'employer le terme de lousséké (on pourra proposer le terme de "post-lousséké", néologisme qui évoque la parenté avec les loussékés). On verra, au chapitre suivant, que ces différences sont certainement à mettre au compte d'influences anthropiques différentes.

Une étude plus détaillée de la végétation a été effectuée sur la station de Gangalingolo ; les relevés floristiques correspondant aux grandes unités de sols décrites au Chapitre V, sont données en annexe de ce travail.

4.- Les sols

Secs ou hydromorphes, les loussékés sont formés par les mêmes types de sols : des "podzols géants", caractérisés par l'épaisseur importante des horizons A₂ et B_h.

Deux variantes peuvent toutefois être distinguées :

* Les podzols à alios humique ont, sous des horizons éluviaux généralement épais de 1 à 4 m, des horizons B_h assez fortement indurés. Ces alios, d'épaisseur également plurimétrique, constituent un niveau totalement imperméable. Leur teneur en matière organique varie de 3 à 30 %, tandis que le taux de fer est toujours très faible. Ils affleurent parfois en surface, à la faveur de remaniements de faibles amplitudes, ou dans les carrières dont on extrait le sable. Entre l'alios et l'horizon A₂, on trouve, de façon quasi générale, un petit horizon gris, épais de 2 à 5 cm, non induré, mais compacté, à teneur en matière organique assez faible, légèrement plus argileux et limoneux. Les transitions entre ces différents horizons sont toujours brutales.

* Dans un certain nombre de cas, il n'y a apparemment pas d'aliôs, sans qu'il soit toujours possible de savoir si celui-ci n'existe pas, ou s'il est à une profondeur telle que la tarière ne peut l'atteindre. Les limites d'investigation de celle-ci sont en effet de l'ordre de 5 m dans les sols secs (au-delà, on n'extraît que ce que les frottements liés à la montée et à la descente de l'instrument détachent de la paroi). En milieu saturé d'eau, fluant, on ne descend guère qu'à 1,5 m ou 2 m. Quant aux fosses pédologiques, il est toujours délicat d'en creuser dans ce matériau sans cohésion. Au-delà de 2 m, nous ne saurons que trop recommander de les étayer.

Ce deuxième type de sol correspond aux "sols peu évolués" de la caténa de De BOISSEZON (Figure 6). Il s'agit en fait de sols également podzolisés mais où l'accumulation humique n'a pu se faire en raison d'un drainage latéral important, qui a permis l'exportation de la matière organique solubilisée hors du profil.

En dehors de ces caractères communs, les sols des loussékés secs et hydromorphes se différencient sur un certain nombre de caractéristiques, ainsi qu'on le verra au Chapitre V. Nous nous bornerons donc ici à en résumer les principales :

- Dans les loussékés secs, l'absence d'hydromorphie permet une meilleure minéralisation de la matière organique dans les horizons de surface. Les sols de cette unité présentent également, très souvent, des accumulations de matière organique dans l'horizon A₂, sous forme de fines bandes épaisses de quelques millimètres, plus ou moins anastomosées, et séparées les unes des autres par une dizaine de centimètres (Figure 32). Il s'agit de "B_h en bandes", pour reprendre une expression de LE COCQ (1980). D'après nos observations, ces bandes de matière organique ne se rencontrent que dans les loussékés secs.

- Dans les loussékés hydromorphes, les gradients d'hydromorphie jouent sur la teneur et les caractéristiques physico-chimiques des humus. La transition entre les horizons A₁ et A₂ se fait par l'intermédiaire de glosses de matière organique, qui correspondent à la zone de battement de la nappe d'eau pendant la saison des pluies (Figure 17).

En ce qui concerne les relations sol-plante, De BOISSEZON (in : De BOISSEZON et JEANNERET, 1965 ; De BOISSEZON et GRAS, 1970) a remarqué que l'on passait souvent sans transition d'un podzol de nappe sous steppe à un podzol de nappe sous forêt, l'aliôs existant à même profondeur, en continuité d'un sol à l'autre. Dans ce cas, il apparaît nettement que les limites des groupements végétaux ne correspondent pas à une limite pédologique. En effet, même si la podzolisation est relativement indépendante du type d'humus en milieu tropical (TURENNE, 1975), il est peu probable que deux types de végétation aussi différents que la forêt et la steppe n'aient pas induit de différences dans les horizons d'accumulation. Il faut donc admettre que les limites actuelles des unités végétales ne renseignent en rien sur celles qui ont prévalu lors de la formation de ces horizons, qui se sont formés, selon toute vraisemblance, sous un type de végétation unique, qui a pu, à la limite, être très différent de l'actuel. On retrouve également ces mêmes variations de végétation sur un aliôs en continuité entre les zones tourbeuses et la steppe lousséké.

En fait, tout semble se passer comme si, à un comportement actuel lié à une nappe perchée sur l'aliòs, qui induit des gradients d'hydromorphie différents et une végétation qui en découle largement, s'opposent des phénomènes plus anciens et plus généraux, responsables de la formation des aliòs.

Deux dynamiques différentes se seraient donc ainsi succédées dans les loussékés, pour arriver à un paysage actuel, qui apparaît ainsi en partie hérité d'épisodes antérieurs. Il est vrai que les aliòs massifs, parfois affleurant sous l'influence de remaniements locaux, les loussékés souvent situés en position de terrasses, l'étroite parenté entre les loussékés secs et les loussékés hydromorphes, donnent irrésistiblement une allure d'ancienneté à ces paysages.

Ces faits nous conduisent directement au point suivant :

B.- Les Loussékés : une histoire complexe

Sans pouvoir encore préciser les faits (cf. 3ème partie), il est à présent possible de faire un certain nombre d'observations sur l'histoire des loussékés.

1.- Des points de convergence

Alors qu'ils correspondent tout de même à deux cas de figures très différents, les loussékés hydromorphes et les loussékés secs sont pourtant suffisamment ressemblants pour que l'on puisse affirmer qu'une partie de leur histoire est commune. Si l'on fait abstraction des caractères directement liés à la présence d'une nappe d'eau perchée sur l'aliòs, la morphologie des sols est la même ; en particulier, l'aliòs et le petit horizon gris plus limoneux qui le surmonte, et que nous appellerons B_{21n}, sont identiques dans les deux cas, leur répartition dans le paysage général est très comparable. L'ensemble de ces caractères se retrouvent sur tout le domaine batéké, c'est-à-dire dans une vaste région, dont le modelé, les altitudes et le climat sont pourtant relativement variés.

En particulier, la parenté entre les loussékés hydromorphes et les loussékés secs permet d'envisager, sans grand risque d'erreur, que ces derniers sont d'anciens loussékés hydromorphes, placés dans de meilleures conditions de drainage externe par les variations du niveau de base local des cours d'eau.

Dans les environs du Stanley-Pool, la position de bon nombre de ces loussékés sur des replats assimilés à des terrasses, ou mieux, à un niveau de base du Maluekien entaillé au Njilien, permet de penser que leur histoire débute il y a environ 40 000 ans, avec le début de cette période humide du Njilien, qui succède à une période semi-aride, peu favorable à la podzolisation, et pendant laquelle se sont justement mis en place les matériaux sur lesquels se développent ces podzols (LE COCQ, 1980 ; SCHWARTZ *et al.*, 1985), ce qui semble confirmé par de premières datations au C-14, effectuées sur des échantillons provenant de la Cuvette congolaise (DELIBRIAS *et al.*, 1983).

C'est donc dans le cadre relativement contrasté de quatre périodes climatiques différentes (Chapitre I), que s'inscrit la genèse commune des sols et des paysages des loussékés secs et des loussékés hydromorphes.

2.- Des facteurs de divergence

A tout un ensemble de caractéristiques communes, on peut opposer des observations précises, qui permettent d'individualiser des loussékés, ou des groupes de loussékés.

La principale divergence apparaît bien sûr, entre les loussékés secs et les loussékés hydromorphes, et paraît, pour l'essentiel, liée à l'enfoncement plus ou moins important du niveau de base des cours d'eau. Pour expliquer la plus grande abondance de loussékés secs dans les environs du Stanley-Pool, LE COCQ (1980) a envisagé l'hypothèse d'un enfoncement du niveau de base du Congo, plus important dans cette région que dans la Cuvette. Il liait ce facteur à l'inversion du cours du Congo, suite à sa capture par un fleuve côtier, vraisemblablement au Kibangien.

En fait, s'il est exact que le niveau de base de la Cuvette a bien moins varié que celui du Stanley-Pool, l'influence de la capture du Congo ne semble pas primordiale. En effet, les observations faites sur les terrasses du Congo aux environs de Brazzaville (GIRESSE et al., 1981) ont montré que le niveau de base du fleuve s'est enfoncé de 13 m environ au Njilien (c'est la différence de cote entre les deux terrasses du Maluekien et du Léopoldvillien) et de seulement 7 m au Kibangien, pour une durée à peu près équivalente. Or, les caractéristiques de la terrasse du Léopoldvillien : pente, poids décroissant des particules d'or vers l'amont actuel ..., impliquent un écoulement vers la Cuvette congolaise. En clair, cela signifie que la capture n'est pas responsable de l'important abaissement de niveau constaté au Njilien.

Quelles qu'en soient les raisons, c'est effectivement l'enfoncement du niveau de base général du Congo et ses répercussions sur celui, plus local, des affluents, parfois amorties ou exagérées par la distance au confluent, la nature du soubassement, qui a permis une évolution divergente des loussékés secs et hydromorphes. Toutefois, ainsi que nous l'avons déjà vu, d'autres facteurs : circulation interne de la nappe, existence de sourcins .., peuvent également contribuer à individualiser ces deux types de paysage.

A cette distinction entre les deux grands groupes de loussékés, il convient d'ajouter d'autres facteurs plus directement stationnels, qui ont concouru pour rendre l'histoire de certains loussékés particulièrement complexe. Ainsi, celui de la concession ORSTOM de Brazzaville (Chap. VIII) at-t-il connu des phénomènes de morphogénèse particuliers : il a été totalement décapé au niveau de l'aliôs, puis recouvert avant que la podzolisation n'y reprenne.

De même, il est parfois possible d'observer l'aliôs à l'affleurement. Ou bien tel autre, situé au km 45 (mare de Gakouba) permet-il d'observer localement une pseudo-doline, dont le pourtour est entièrement tapissé d'aliôs. Il s'agit là d'un phénomène d'effondrement pseudo-karstique, qui n'a pu se passer qu'après la formation de cet aliôs, en liaison avec la circulation souterraine de l'eau en bordure des plateaux.

L'influence des facteurs anthropiques (Chapitre III) contribue également à individualiser l'évolution propre de chaque lousséké.

Il serait possible de multiplier à loisir les exemples, mais cela ne nous semble pas utile.

En résumé, après une histoire commune, une évolution divergente a permis d'individualiser les deux groupes, hydromorphes et secs, de loussékés. Parallèlement, d'autres facteurs, plus purement stationnels, ont permis, au sein d'un même ensemble, d'aboutir à des évolutions particulières, dont certaines apparaissent très complexes.

III.- LE LOUSSEKE ET SON ENVIRONNEMENT

A.- Echelle du modelé : la place du lousséké dans le paysage

1.- Position topographique

Sur le terrain, ou à la lecture d'une carte pédologique, la répartition des loussékés apparaît très nettement : il s'agit d'unités se développant dans les points bas des paysages.

En effet, dans les zones de collines, ils demeurent circonscrits aux vallées alluviales (cf. par exemple, De BOISSEZON et GRAS, 1970), où ils occupent soit des glacis colluviaux à très faible pente, soit des replats figurant des terrasses, soit de vastes zones planes occupant le fond évasé des vallées.

De même sur les plateaux, c'est également dans les points bas du paysage qu'on les retrouve, en particulier dans certaines dépressions fermées.

Cet aspect important est évidemment à relier aux conditions d'hydromorphie nécessaires à leur genèse. Certains d'entre eux sont toutefois actuellement placés dans des conditions topographiques qui ne sont plus celles de bas fonds : c'est notamment le cas des loussékés en position de terrasses, mais il ne faut pas oublier que les terrasses correspondent à d'anciens niveaux de base, et que les sols qui s'y développent ont également pu être des sols de bas fonds.

Dans certains cas, l'enfoncement de ces niveaux de base a même abouti à une inversion du relief : nous citerons le lousséké en position de col, entre les deux plateaux de Djambala et Nsa ; de part et d'autre de ce lousséké, et nettement en contrebas, partent deux têtes de vallées, dont celle de la Nkéni. Toutefois, même quand la position géomorphologique de ces unités a varié et n'est plus celle de bas fonds, la genèse de ces sols s'est bien effectuée dans les points bas du paysage.

2.- Formes et dimensions

Les loussékés sont en fait une forme de raccordement entre les versants et les points les plus bas du paysage, nappe d'eau libre pour les dépressions fermées, cours d'eau dans les autres cas. Ils s'inscrivent dans un cadre plus général, et aussi bien leurs dimensions que leurs formes, les allures de leur contour, dépendent étroitement de ce cadre.

Il n'y a donc pas de forme typique des loussékés. On en trouve qui s'étirent en bande étroite le long des vallées, d'autres qui sont subcirculaires, etc.

De même, toutes les échelles de taille existent. Le "micro-lousséké" de la concession ORSTOM a une surface de quelques 30 ares. Celui de Gangalingolo a une taille de l'ordre de 40 hectares. Dans les vastes plaines alluviales de la Cuvette congolaise, il en existe qui ont une superficie de quelques km² d'un seul tenant. Cette échelle spatiale apparaît donc comme extrêmement variable et étroitement dépendante de la forme et de la taille du modelé dans lequel s'inscrit le lousséké.

B.- Echelle régionale : trois zones géographiques

LE COCQ (1980) distingue trois zones de loussékés, qui correspondent aux trois grandes zones géomorphologiques des formations batéké :

- les plateaux,
- les collines drainées vers la Cuvette congolaise,
- les collines drainées vers le Stanley-Pool.

1.- Les Plateaux

Sur les plateaux batéké, les loussékés sont décrits comme étant des dépressions fermées peu profondes : de 100 à 600 m de diamètre, 2-3 m au maximum de dénivellation. Ces dépressions s'opposent à des pseudo-dolines pouvant dépasser 800 m de diamètre et 15 m de profondeur. Les mécanismes de formation des dépressions et pseudo-dolines s'apparentent certainement à des phénomènes pseudo-karstiques, soutirage et dissolution (CAHEN et LEPERSONNE, 1948 ; BOCQUIER et De BOISSEZON, 1959 ; HUMBEL, 1964), ainsi que nous l'avons rappelé au Chapitre I.

En fait, les loussékés ne sont pas restreints à des dépressions fermées. D'autres formes existent également. Certains loussékés présentent un exutoire temporaire ou permanent, qui permet d'assurer un drainage externe, même faible. D'autres sont effectivement des dépressions fermées (Figure 8). Il nous a également été possible d'observer, près de Boulankio, un lousséké en position de replat, au-dessus d'une vallée sèche (Figure 9).

Corrélativement, l'hydromorphie est très variable :

* Certains loussékés sont entièrement hydromorphes. Ainsi, celui de Bilanko (Figure 8 : L = 15°21' E ; 1 = 3°31' S) se présente sous forme d'un

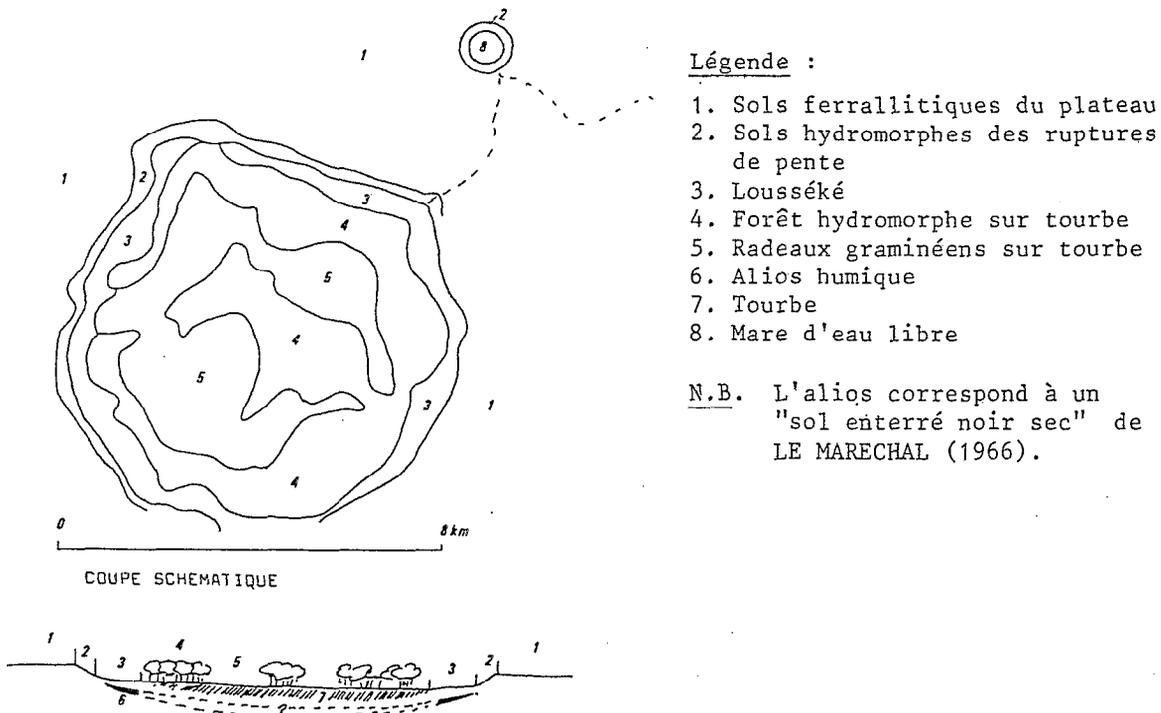


Figure 8.- Le lousséké du bois de Bilanko : vue en plan (d'après De La SQUCHERE, inédit).

anneau entourant une forêt hydromorphe et des radeaux graminéens reposant sur une tourbe fortement imprégnée d'eau et épaisse de plusieurs mètres. Il est fort probable que l'alios, rencontré à la tarière dans l'anneau externe, tapisse tout le fond de la dépression et soit ainsi à l'origine de la formation de la tourbe, mais il ne nous a pas été possible de l'atteindre dans la partie centrale, où l'épaisseur des horizons tourbeux dépasse 4 m. La transition entre les sols ferrallitiques et les podzols de l'anneau externe s'effectue par l'intermédiaire d'une petite rupture de pente, occupée par des sols hydromorphes, sur quelques mètres de distance.

Ce lousséké de Bilanko présente la rare particularité d'être occupé, sur une grande surface, par une végétation forestière, qui ne s'est, il est vrai, pas développée sur des sols podzolisés, mais organiques.

* D'autres, comme celui d'Inkoubi (près de Bilanko) sont mixtes, avec des zones totalement hydromorphes et d'autres plus sèches. Ce lousséké semble avoir un exutoire au moins temporaire vers une des vallées qui s'étendent au pied du plateau de Mbé. Il est relativement comparable au lousséké de Gangalíngolo, étudié dans la deuxième partie de ce travail.

* Enfin, il y a même des loussékés totalement secs. Ainsi, près de Boulankio (Figure 9 : L = 15°18'30" E ; l = 3°48' S), un lousséké sec à B_h en bandes se trouve en flanc de vallée sèche, au fond de laquelle affleure l'alios. Un tel cas de figure ne semble pas avoir été décrit auparavant sur les plateaux.

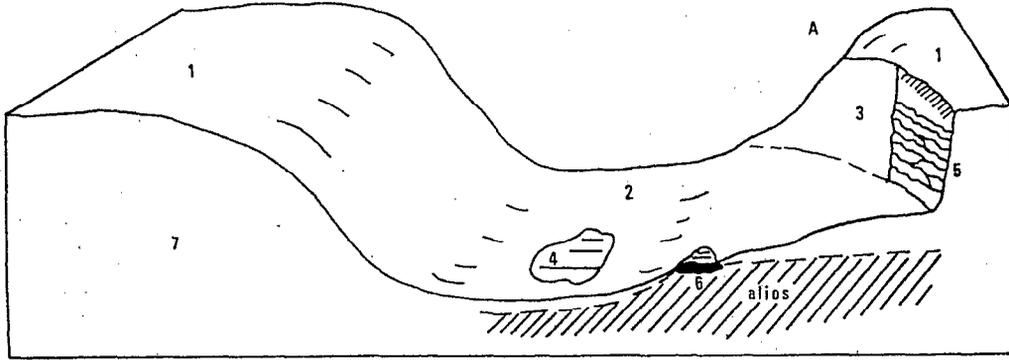


Figure 9.- Coupe schématique d'un lousséké sec des plateaux.
 (1 : Plateau ; 2 : vallée sèche ; 3 : carrière ; 4 : mare ;
 5 : paléo-podzol à B_h en bandes ; 6 : affleurement
 de l'alios ; 7 : sols ferrallitiques. A = lousséké).

Il convient de préciser que les formes décrites aux figures 8 et 9 ne sont pas typiques des loussékés de plateaux. La figure 11 (Chapitre suivant) correspond, par contre, à un cas de figure très fréquent.

Force est de constater que les loussékés sont relativement peu abondants sur les plateaux. Leur répartition y est particulière : on les trouve essentiellement dans une bande étroite, sur la bordure ouest et sud-ouest du plateau de Mbé (LE MARECHAL, 1966), ce qui n'est certainement pas un hasard, mais doit sans doute être relié à des circulations souterraines d'eau, qui pourraient être à l'origine de la formation de ces cuvettes.

BOCQUIER et De BOISSEZON (1959) proposent le mécanisme de formation suivant :

- formation de la cuvette par soutirage,
- colmatage par des éléments fins, et constitution d'une nappe battante,
- podzolisation, avec notamment la formation d'un alios,
- constitution d'une nappe perchée sur l'alios.

Ce schéma est purement hypothétique. S'il s'avère effectivement qu'une phase préalable de formation de ces cuvettes et d'imperméabilisation a été nécessaire pour la podzolisation, le mécanisme de formation des loussékés des plateaux sera un peu plus complexe que celui des vallées.

Enfin, il semblerait, d'après une prospection aérienne que nous avons pu faire, qu'il existe un lien entre la localisation des loussékés et l'existence de vallées sèches sur le plateau de Mbé (voir par exemple la figure 11 au chapitre suivant). Ce fait, qui demande confirmation par des prospections systématiques, paraît nouveau et difficile à expliquer dans l'état actuel des connaissances.

2.- Les loussékés drainés vers la Cuvette congolaise

D'après LE COCQ (1980), les loussékés s'y trouvent en position basse, ne surplombant la surface de l'eau courante que de quelques mètres, 8 au maximum. Ce fait est à relier à la relative stabilité des niveaux de base dans cette région, au cours du Quaternaire récent.

Toutefois, même dans cette région, il est également possible de trouver tous les cas de figure. Dans les vastes plaines alluviales, prédominent effectivement les loussékés hydromorphes, proches de la surface de l'eau courante, mais plus près des collines, vers Gamboma, se trouvent des loussékés en position de terrasse, complètement exondés, avec des A₂ de 4 m d'épaisseur et de splendides B_h en bandes ; ainsi, à la sortie de Bamboma, vers Yaka (L = 15°51'30" E ; l = 1°53' S), ou bien sur la Louara (Carrière Réo : L = 15°51'30" E ; l = 1°57'30" S).

3.- Les loussékés drainés vers le Stanley-Pool

Dans cette zone, prédominent les loussékés secs, exondés, placés en position de terrasse plus ou moins nette par l'enfoncement assez général du niveau de base des cours d'eau depuis le Njilien.

Les loussékés hydromorphes et mixtes y sont cependant également bien représentés : ainsi celui de Gangalingolo, que nous étudierons plus en détail dans la seconde partie de ce travail.

4.- Conclusions

Il apparaît ainsi que les types de loussékés sont les mêmes d'une région à l'autre. Ce qui change, c'est leur fréquence respective. On peut ainsi résumer les caractères de chaque "population statistique" :

- sur les Plateaux, les loussékés sont peu nombreux, localisés en bordure de plateau, et sont pour la majorité hydromorphes. Leur genèse a peut-être nécessité la formation préalable des dépressions où ils sont situés, et surtout leur imperméabilisation.

- dans les collines drainées vers la Cuvette, les loussékés occupent les vallées alluviales, où ils ne surplombent la surface de l'eau courante que de quelques mètres. Il s'agit surtout de loussékés hydromorphes. La présence d'un alios, d'après LE COCQ (1980) ne serait pas systématique.

- dans les collines drainées vers le Stanley-Pool, les loussékés sont également localisés dans les vallées, où ils sont cependant souvent en position de replat figurant des terrasses. Les loussékés secs sont majoritaires.

C.- Aspects cartographiques

1.- Généralités

Les sols de loussékés varient très rapidement en fonction de l'hydromorphie : le passage d'un type de sol à l'autre est souvent métrique, ce qui facilite le travail du cartographe. Mais les loussékés occupent souvent des surfaces restreintes, ce qui fait qu'il est difficile de les faire apparaître aux petites et moyennes échelles, même en regroupant les différentes unités de podzols en une seule unité cartographique.

2.- Utilisation des unités complexes

Les sols des loussékés n'apparaissent ainsi dans les différentes cartographies pédologiques réalisées au Congo, qu'en unités complexes.

* L'association en toposéquence : Cette association permet de distinguer les sols (et la végétation ; cf. KOECHLIN, 1961 et Figure 7) en fonction de leur localisation le long des versants et du degré d'hydromorphie, induit par leur position topographique. Ainsi que nous le verrons ultérieurement, deux types de passage sont possibles entre les sols ferrallitiques et les podzols hydromorphes : en passant par les loussékés secs ou par les sols hydromorphes.

A grande échelle, la micro-topographie permet d'établir des toposéquences plus fines (Chapitre V).

* Une juxtaposition : On la trouve au niveau des points bas (l'unité 3 de la catena de De BOISSEZON, Figure 6). On y trouve des podzols de nappe et des sols hydromorphes, avec un passage des uns aux autres, qui ne semble obéir à aucune loi de répartition, mais qui peut être lié à des différences de végétation, à la présence de mares ou à des circulations complexes de la nappe d'eau.

3.- Loussékés et sols ferrallitiques

La genèse des sols de loussékés est une genèse typiquement stationnelle, résultant de la combinaison d'un matériau très sableux et d'une hydromorphie importante, et ce, exclusivement en fond de vallée ou de dépression : on n'assiste, en aucun cas, à un envahissement des versants par des sols podzolisés. Il ne semble pas que la limite des loussékés ait sensiblement évolué depuis le début de leur genèse, au Njilien, ce qui est un argument supplémentaire pour considérer qu'il s'agit de phénomènes en grande partie fossiles.

Il n'y a pas de liens génétiques réels entre les sols ferrallitiques et les sols de loussékés. Le matériau ferrallitique sert ici de support, mais l'étude du passage des podzols aux sols ferrallitiques n'apporte, dans ce cas précis, que peu de renseignements sur les processus et la dynamique de la podzolisation.

IV.- COMPARAISON AVEC D'AUTRES PODZOLS TROPICAUX

A.- Podzols côtiers

La plupart des podzols tropicaux étudiés à ce jour sont développés dans des plaines côtières : Côte d'Ivoire (LENEUF et OCHS, 1956), Congo (JAMET et RIEFFEL, 1976), Amazonie, où ils ont été abondamment décrits; tant en Guyane française qu'au Surinam, Guyana, Brésil (BLEACKLEY et KHAN, 1963 ; BLANCANEUX et al., 1973 ; TURENNE, 1975 ; BOULET et al., 1979 ; FLEXOR et al., 1975 ...), Malaisie (ANDRIESSE, 1968, 1969), Cambodge (PLATTEBORZE, 1969), etc. (voir KLINGE, 1968).

Un certain nombre d'entre eux se trouvent en position basse (VEEN, 1970, cité par TURENNE, 1975 ; ANDRIESSE, 1968 ; PLATTEBORZE, 1969), mais la plupart sont situés en position plane haute. Au Congo, c'est également, semble-t-il, le cas des podzols côtiers. Les exemples les mieux connus sont ceux des podzols guyanais.

BOULET et al. (1979) ont reconstitué, d'après les travaux de TURENNE (1975), les différentes étapes de la dégradation des sols ferrallitiques en podzols. Elle résulte de l'installation d'une nappe perchée sur des sols ferrallitiques lessivés. La podzolisation en position sommitale plane est alors liée à des conditions d'hydromorphie, qui naissent du mauvais drainage externe, lequel s'améliore sur les pentes occupées par les sols ferrallitiques.

Contrairement aux loussékés, il y a dans ce cas des liens pédogénétiques importants entre les sols ferrallitiques et les podzols. Cependant, LE COCQ (1980) avait fait remarquer que les variations du niveau de base n'ont pas été intégrées dans ces études (ce que TURENNE confirme et regrette : communication orale).

Cet aspect a été abordé par d'autres auteurs ayant travaillé sur les podzols côtiers. Ainsi, BRZESOWSKY (1962) y fait référence pour des podzols du Cameroun. De même, FLEXOR et al. (1975) notent que les podzols humo-ferrugineux bien drainés du littoral brésilien sont certainement d'"anciens podzols de nappe placés dans des conditions de bon drainage par les phénomènes d'érosion". PLATTEBORZE (1969) décrit, au Cambodge, des podzols sur trois terrasses marines : sur les basses terrasses (+ 3 m), les podzols sont localisés à des dépressions mal drainées (leur présence n'y est cependant pas attestée de façon sûre) ; sur les moyennes terrasses, ils occupent 30 à 40 % de la surface ; enfin, ils caractérisent uniformément les sols des hautes terrasses. PLATTEBORZE lie ces différences à des durées d'évolution différentes, mais il serait intéressant de reprendre cette étude en y intégrant des données géomorphologiques et paléoclimatiques plus précises.

Enfin, si certains auteurs estiment qu'il n'y a pas de différence entre la végétation des sols podzolisés et les oxisols (FLEXOR et al., 1975), d'autres (BOULET et al., 1979) pensent que l'abattage répété de la forêt aboutit à une savane de dégradation.

B.- Formations continentales

La présence de podzols dans les formations continentales est encore peu signalée.

DELHUMEAU (1975) en a cartographié dans des formations sableuses du Gabon, où ils sont liés à des niveaux de base des rivières, comme au Congo.

En Zambie, ils occupent, d'après BRAMER (1973), une surface comprise entre 17 000 et 45 000 Km². Ils sont décrits de la manière suivante : bien drainés, à végétation comparable à celle des oxisols (cf. FLEXOR et al., 1975), développés dans des formations éoliennes mi-tertiaire à Pléistocène, formant des terrasses alluviales de 2 à 6 m au-dessus des vallées. L'alios peut avoir jusqu'à 190 cm d'épaisseur.

Il y a là beaucoup de points de convergence avec les loussékés s.s. Dans le texte, il apparaît clairement que BRAMER considère que la genèse de ces sols est actuelle, ce qui reste cependant à prouver. Il s'agit, en tout cas pour le moment, des seuls podzols tropicaux à offrir autant d'analogies avec les loussékés. Il n'y a aucune raison pour qu'ils soient les seuls, mais il reste à localiser et décrire d'autres unités s'en rapprochant.

Au vu de ces éléments, les loussékés semblent donc bien être pour le moment un type de paysage très original.

V.- CONCLUSIONS

Les loussékés constituent une unité de paysage typiquement stationnelle, occupant les points bas des paysages. Leur genèse est liée à la combinaison de deux facteurs : la présence d'un matériau très sableux et une forte hydromorphie, résultant d'un déficit du drainage externe, induit par une position originelle de bas-fonds.

Il est possible de les définir par un certain nombre de critères relativement simples : végétation à dominante steppique, sols podzolisés, gradient d'hydromorphie, pente faible, présence préférentielle dans les points bas du modelé. L'unité de paysage ainsi définie contraste nettement, par rapport à un environnement très différent.

Diverses observations de terrain concourent à en donner une impression d'ancienneté, voire de fossilisation : présence de nombreux remaniements, alios à l'affleurement et parfois entaillés par les cours d'eau, ou même démantelés, diversité des évolutions, absence de correspondance entre les limites des horizons supérieurs et inférieurs (en particulier, variations de la végétation et des humus sur un alios en continuité), limites ayant peu varié depuis le début de leur évolution, il y a près de 40 000 ans, degré d'exondation plus ou moins important, présence sur des replats alluviaux-colluviaux anciens ...

Toutefois, deux degrés d'évolution différents, caractérisés par la présence, ou l'absence, d'une nappe d'eau battante, permettent de définir deux unités de paysage élémentaires : le lousséké sec et le lousséké hydromorphe, dont l'histoire a été, en grande partie, la même, ainsi que le prouve l'étroite parenté de leur répartition et de la morphologie des sols. Leur évolution commune a cependant ultérieurement divergé, pour aboutir à ces deux unités élémentaires, qui correspondent également à un degré de fossilisation plus ou moins important, les loussékés secs paraissant en l'occurrence être les formes les plus "séniles".

A l'origine de cette divergence, l'enfoncement plus ou moins important du niveau de base local des cours d'eau, lui-même déterminé par l'histoire générale de la région, paraît jouer un rôle primordial. Ainsi, dans la région de Brazzaville, où ce niveau de base a considérablement varié au cours du Quaternaire récent, les loussékés secs sont majoritaires, tandis qu'en bordure de la Cuvette congolaise prédominent les loussékés hydromorphes. Il faut toutefois noter que dans ces deux zones, ainsi que dans celle des plateaux, les loussékés ont la même morphologie, et présentent le même type de variations. Les différences portent plus sur la composition de la population que sur les caractères propres des individus.

A ce stade de la réflexion, il est difficile d'aboutir à une typologie complexe des loussékés. Il est toutefois possible d'exposer l'ensemble de leurs caractéristiques sous forme synthétique, ainsi que nous l'avons fait au tableau VI.

Ce tableau est construit autour des deux unités élémentaires. Une branche analytique expose les caractères intrinsèques des loussékés : hydromorphie, végétation, sols. L'autre, synthétique, permet de placer l'unité de paysage dans son environnement géographique.

Tableau VI.- Principales caractéristiques des loussékés.

FACTEURS INTRINSEQUES				FACTEURS EXTRINSEQUES		
SOLS	VEGETATION	HYDROMORPHIE	UNITE ELEMENTAIRE	UNITE de PAYSAGE	MODELE	EHELLE REGIONALE
Sols hydromorphes et podzols à nappe secondaire	Steppe hydromorphe (=steppe lousséké) associée à forêts-galeriers et végétation de tourbière.	Nappe battante affleurant une partie de l'année	Lousséké hydromorphe	LOUSSEKE (hydromorphe, mixte*, sec)	- des dépressions fermées - des bordures d'axes d'écoulement	Plateaux
Podzols	Steppe sèche et/ou Savane à <i>Loudetia demoussi</i>	Hydromorphie de profondeur ou pas d'hydromorphie	Lousséké sec		- des vallées alluviales - des replats alluviaux	Collines drainées vers le Pool Collines drainées vers la Cuvette

* Dans les loussékés mixtes, la zone hydromorphe est plus développée que la zone sèche.

CHAPITRE III

UTILISATION DES LOUSSÉKÉS ET ANTHROPIISATION DES PAYSAGES
--

La prise en compte des facteurs anthropique dans ce travail se justifie pour plusieurs raisons essentielles :

* Nous avons abordé, dans cette première partie, les loussékés de façon synthétique, sous l'angle de l'unité de paysage. Pour que ce tableau soit complet, il est nécessaire d'étudier les liens qu'il peut y avoir entre le paysage et l'homme, et ce d'autant plus que les traces d'activités humaines paraissent nombreuses dans les loussékés.

* Il apparaît, en particulier, qu'un certain nombre de conséquences de l'anthropisation ont apporté une touche définitive au paysage tel que nous le connaissons actuellement.

* D'autres facteurs, qui se manifestent de façon apparemment plus discrète, ont cependant profondément perturbé le sol. Ne pas en tenir compte lors de l'étude des mécanismes pédogénétiques (voir par exemple le chapitre VIII) risque d'aboutir à des conclusions aberrantes, ou pour le moins partielles. Il importe donc d'en cerner les causes.

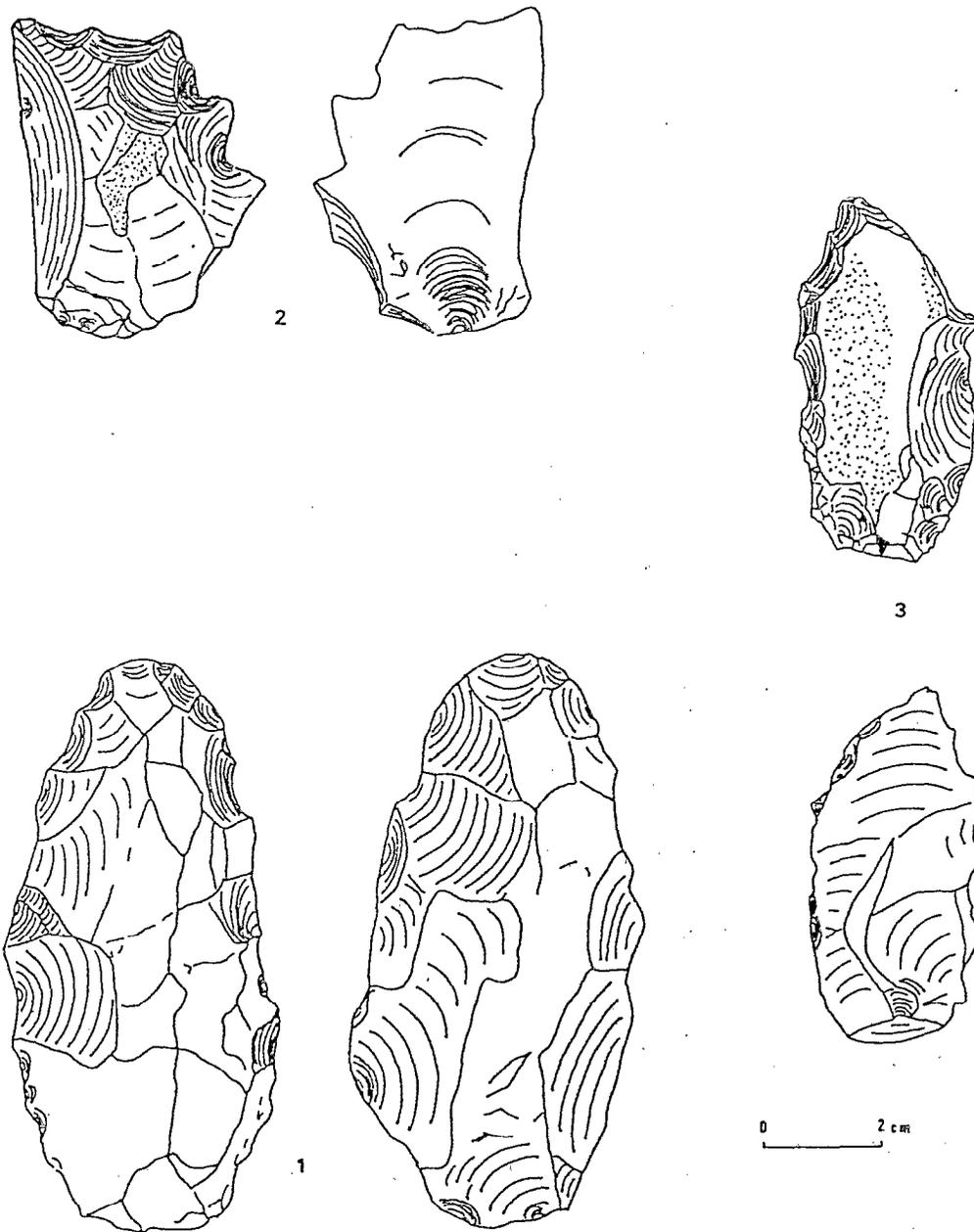


Figure 10.- Outillage tshitolien provenant de Gangalingolo (exemples).

1. GASC 1, profondeur 78 cm : petite pièce bifaciale à section biconvexe, tirant sur le planoconvexe, à extrémité de type ciseau en grès polymorphe blanc.
2. GASC 195 : éclat à talon punctiforme ; une extrémité en éventail est affectée de 4 coches adjacentes, dont deux très marquées. Grès polymorphe brun. Profondeur non déterminée.
3. GASC 73, profondeur 40 cm : éclat cortical à talon lisse, un bord affecté de retouches écailleuses de type racloir, l'autre de coches non adjacentes. Grès polymorphe brun.

(déterminations R. LANFRANCHI).

I.- UTILISATION DES LOUSSEKES

A.- Utilisation ancienne

1.- Pendant la Préhistoire

Ainsi qu'on l'a vu, les loussekés sont originellement des sols de bas-fonds. Il sont donc, ou ont été, tous situés près des points d'eau, et ont ainsi toujours représenté des sites attractifs pour l'homme.

De fait, les traces d'occupation préhistorique sont très nombreuses dans les sols. On y observe en effet, très fréquemment, de l'industrie lithique, disposée en lignes plus ou moins continues, ou encore éparées. Dans certains cas, la densité de l'industrie peut être très abondante : il a été ainsi possible de récolter plusieurs dizaines de pièces au mètre carré dans le lousseké de la concession ORSTOM à Brazzaville (LANFRANCHI, en cours, et chapitre VIII).

La matière première des pièces est généralement constituée par des blocs de grès polymorphes fortement silicifiés. Le pourcentage d'éclats et de déchets de taille est très important, supérieur à 95 %. De ce fait, il est parfois difficile à un profane de reconnaître la nature préhistorique des blocs et morceaux de grès polymorphes. Ainsi, BAUD (1954) et DE BOISSEZON et GRAS (1970) les ont interprétés comme de simples éléments grossiers.

L'âge des industries est très variable. Le plus souvent, il s'agit d'industrie tshitolienne (< 12 000 ans B.P.), récente ou ancienne, mais du Lupembien (12 000-30 000 ans B.P.), voire du Sangoen (40 000-70 000 B.P.) a pu être également observé. L'industrie est localisée préférentiellement dans les horizons A₂. Quelques cas plus complexes ont toutefois été signalés. Ainsi, dans le podzol de la concession ORSTOM (voir Chapitre VIII), l'outillage se trouve posé sur l'aliôs. Dans ce dernier horizon, les trouvailles sont très rares. On ne signalera guère que deux éclats, malheureusement non identifiables, que nous avons récoltés à Gangalingolo, et surtout un magnifique site fouillé en 1937, au Zaïre, par CABU (cité et réinterprété par C. LANFRANCEI, 1984). Dans l'aliôs, cet auteur décrit deux industries sangoennes, une première plus ancienne et en partie roulée, une deuxième plus fraîche et plus évoluée, située au-dessus de la première. Dans l'horizon A₂ se trouve un troisième niveau sangoen, évoluant vers le Lupembien. Ce magnifique site, qui a également livré des restes de racines dans l'aliôs (LEPERSONNE, 1937), a malheureusement été entièrement recouvert d'habitations lors de l'extension de la ville de Kinshasa.

Il est également possible d'observer, dans certains loussekés, des niveaux beaucoup plus récents (proto-historiques ou historiques) contenant de la céramique.

Tous ces niveaux sont les témoins de l'existence de phases de remaniements et de dépôts de matériau, sur lesquels nous reviendrons au chapitre VII.

La présence quasi générale d'industries est également une preuve formelle d'occupation humaine. CAHEN et MORTELMANS (1973) ont noté avec étonnement, lors d'une fouille sur le plateau des Batéké (Zaïre ; cf. Figure 2), qu'il n'y avait aucune trace d'occupation prolongée. Outre le fait qu'il n'est pas toujours aisé de mettre un tel type d'occupation en évidence, ceci ne nous surprend pas : ces lieux humides devaient être relativement insalubres et peu propices à un habitat fixe. Celui-ci devait être vraisemblablement situé plus loin, alors que le lousséké devait servir de point d'eau, de lieu de chasse et éventuellement de cueillette.

Ce fait est d'ailleurs à rapprocher de l'habitat actuel : il est rarement situé près des cours d'eau, où se trouvent en abondance glossines (mouche tsé-tsé; en galeries forestières seulement), moustiques, simuliés ..., mais plutôt sur des hauteurs dégagées et ventilées, ce qui a pour effet d'éloigner les insectes.

La figure 10 présente quelques pièces récoltées lors du creusement des fosses pédologiques de Gangalingolo.

2.- Utilisation traditionnelle

a) Réserve d'eau

Ce rôle, dévolu aux loussékés hydromorphes, est particulièrement important sur les Plateaux sensu stricto, où les rivières sont quasiment inexistantes. Il est en effet sûr que certains trous d'eau, qui jalonnent les loussékés, ont pour origine une excavation artificielle creusée afin de recueillir l'eau de la nappe, seule source d'approvisionnement possible.

Nous avons également pu observer, au cours de nos prospections, des trous taillés dans l'aliôs, et qui servent encore de puits de nos jours. Il y avait encore de l'eau dans ces puits à l'issue d'une saison sèche particulièrement longue (cinq mois). Cette eau ne pouvait, à cette période, provenir que de circulation au sein même de l'aliôs. Cette circulation apparaît d'ailleurs comme très complexe : en effet, dans les deux cas observés (km 45 et village de Mba, en bordure ouest du plateau de Mbé), les puits étaient situés à quelques 10-20 m de vallées sèches, situées à 5-6 m en contrebas, et au fond desquelles, après sondage à la tarière, il n'y avait aucune trace d'eau.

Il est fort possible que la présence de ces loussékés en bordure sud et ouest du plateau de Mbé explique en partie la survivance en ces lieux de villages, alors qu'ailleurs, ils ont presque tous migré le long de la route nationale.

Il faut encore noter que, de plus en plus, les villageois se servent de l'eau de pluie, qu'ils recueillent dans de vieux fûts. La rareté des eaux de surface est un réel problème pour les habitants, et justifie l'existence d'un programme d'alimentation en eau potable, mené actuellement par le B.R.G.M.

b) Rouissage du manioc

Le manioc, aliment de base des Congolais, doit impérativement être roui avant d'être consommé. En effet, ce tubercule est très riche en acide cyanhydrique, et le rouissage, opération consistant à laisser le tubercule coupé en quartiers dans l'eau d'un ruisseau ou d'une mare pendant quelques jours, permet de l'éliminer.

Le rouissage se pratique généralement dans des excavations aménagées dans les mares, ou à côté, et les cours d'eau : il semblerait que l'eau crouissante soit utilisée préférentiellement à l'eau courante.

C'est encore sur les plateaux sensu stricto, que ce rôle est le plus important, en raison de la rareté d'autres points d'eau.

c) Construction des cases

Les cases batéké sont constituées par une armature de perches en bois, complétée par un clayonnage. Les murs et le toit sont revêtus de chaumes de *Loudetia simplex*, la graminée caractéristique des zones podzolisées, et dont le nom vernaculaire de "lousséké" a été repris par BABET pour désigner l'unité de paysage où elle pousse.

Ces cases sont très fraîches, et lorsqu'elles sont bien entretenues, parfaitement imperméables.

D'autres graminées, *Ctenium newtonii* et *Loudetia demeusii*, que l'on trouve aussi bien dans les loussékés secs que dans les savanes de bordure, servent également à la construction des cases. Ces deux espèces sont indifféremment appelées "itshelo" ou "etshelé" (ce terme a également été employé dans un village pour désigner *Loudetia simplex*. Faut-il y voir un appauvrissement des connaissances botaniques et linguistiques des jeunes générations ?).

Par ces différents aspects, essentiels dans la vie quotidienne des villageois, les loussékés ont joué jusqu'à une période récente, un rôle extrêmement important.

B.- Utilisation actuelle

1.- Utilisation agricole

A titre anecdotique, nous signalerons une plantation d'ananas et quelques palmiers, dont on peut se demander l'intérêt réel.

2.- Matériau de construction

Actuellement, les loussékés secs servent fréquemment de carrières de sables pour la construction. Ces sables sont effectivement très intéressants par certains côtés :

- ils sont déjà au départ très purs et débarrassés de toute fraction fine,
- l'épaisseur des horizons A₂ (entre 2 et plus de 4 m), la superficie de ces loussékés, garantissent des "gisements" importants de matière première,
- proximité et abondance des loussékés permettent un approvisionnement facile.

La granulométrie trop fine de ces sables (Cf. Chapitres I et VII) en fait cependant un mauvais matériau de construction. En effet, s'ils conviennent pour le crépissage, les agglomérés qu'on en tire sont de qualité médiocre, très friables et fragiles.

L'absence quasi générale de matériaux plus grossiers (si l'on excepte les grès Inkisi concassés) fait qu'ils constituent malgré tout l'élément de base des constructions en dur actuelles.

C.- Utilisation possible

Si leur utilisation pour la construction ne résulte que d'une contrainte majeure, l'absence de tout autre matériau, ces sables pourraient par contre fournir une excellente matière première pour la fabrication du verre.

L'absence d'argile et de minéraux altérables en font un sable siliceux très pur, de type sable de Fontainebleau, ce qui limite les traitements et les coûts d'exploitation. Leur granulométrie est en plus idéale pour une utilisation en verrerie, usage qui serait certainement une excellente façon de tirer quelque profit de ces terres autrement ingrates. Une telle utilisation de sables de podzols se fait d'ailleurs dans la zone côtière. Mais en raison des difficultés de communication entre Pointe-Noire et Brazzaville, une production locale pourrait s'avérer intéressante (avec notamment la présence à Brazzaville de deux brasseries).

Il est hors de question d'envisager une utilisation, même extensive, des loussékés pour l'élevage : les espèces végétales sont riches en silice, peu appétantes et à très faible valeur fourragère dans l'ensemble. La productivité (non mesurée), sans restitution, de ces sols à très faibles réserves minérales (somme des bases échangeables inférieure à 0,15 m.e./100 g) doit être plus que médiocre. L'abondance de terrains à potentiel agronomique plus élevé ne justifie en aucune manière l'utilisation de tels sols.

II.- ANTHROPIISATION DES PAYSAGES

A.- Les conséquences directes de l'utilisation

L'utilisation des loussékés aboutit à la création d'un paysage fortement humanisé. Cette anthropisation se manifeste de façon très diverse.

1.- En surface

a) Les carrières

Les carrières de sable trouent le paysage, où le blanc éclatant du matériau se voit de loin. Elles fonctionnent généralement de façon intermittente, au gré des besoins. L'ablation de sable peut dépasser 4 mètres.

Le passage des camions a créé un réseau très serré de pistes parallèles : lorsque l'une de celle-ci devient impraticable (risque d'enlèvement ou d'ensablement), on passe à côté, en créant au besoin une nouvelle trace. Cet aspect de l'utilisation prend parfois des proportions considérables : nous avons pu, en deux ans, assister à une véritable transformation du lousséké de Gangalingolo. Pour se rendre de la route à la carrière, il faut traverser sur près de 800 m des zones humides, qui supportent mal le passage répété de véhicules. C'est un réseau de pistes, d'ornières plutôt, large par endroit de 40 m, qui s'est créé depuis l'utilisation plus intensive de cette carrière. Ces ornières sont évidemment un lieu privilégié de circulation des eaux qu'elles canalisent. Certaines se sont transformées en ravines, profondes d'un mètre, et larges de plus de deux.

N.B. Ces carrières servent parfois, également, de champs de tir.

b) Créations de mares

Des mares peu profondes (quelques dizaines de cm au maximum), de forme subcirculaire et d'un diamètre d'une dizaine de mètres, parsèment de façon assez aléatoire la surface de bon nombre de loussékés hydromorphes.

Certaines ont, de toute évidence, une origine anthropique, mais d'une manière générale, il n'est pas possible d'attribuer avec certitude une origine humaine à la plupart d'entre elles. Cette hypothèse est toutefois hautement probable. En effet, il est impossible d'envisager ici une origine analogue à celle des dépressions, où se trouvent les loussékés : soutirage pseudo-karstique. L'alios, en parfaite continuité sous les mares atteste de l'impossibilité d'un tel phénomène. Ou alors, il eut fallu que ce soutirage se soit effectué avant la formation de l'alios, soit il y a plus de 40 000 ans (Chapitre IX) auquel cas il est bien improbable, au vue des nombreux remaniements qui ont affecté les loussékés, que ces formes se soient conservées sans dommage.

D'autre part, lorsqu'on observe sur deux ans l'évolution des fosses pédologiques que nous avons creusées dans le lousséké hydromorphe, on se rend compte qu'elles évoluent de façon assez rapide, favorisée par la grande fluence du matériau, vers des formes qui rappellent ces mares. Ce n'est certes qu'une analogie, mais qui montre qu'une origine anthropique plus ou moins ancienne de ces mares n'est pas à exclure. Ce que l'on sait de l'utilisation des loussékés rend cette hypothèse tout à fait plausible.

c) Un maillage de sentiers

Nous avons pu observer maintes fois un maillage polygonal très serré de sentiers, qui rejoignaient ces mares dans des loussékés des plateaux batéké. Ce maillage, qui ressort en blanc soutenu sur un fond vert, est très impressionnant vu d'avion (Figure 11). Il est nettement plus serré que les sentiers, qui parcourent les sols ferrallitiques des plateaux. Les loussékés sont des points de convergence.

Ces sentiers sont également des lieux privilégiés de circulation d'eau, en particulier lorsque les loussékés "débordent" lors de pluies brutales.

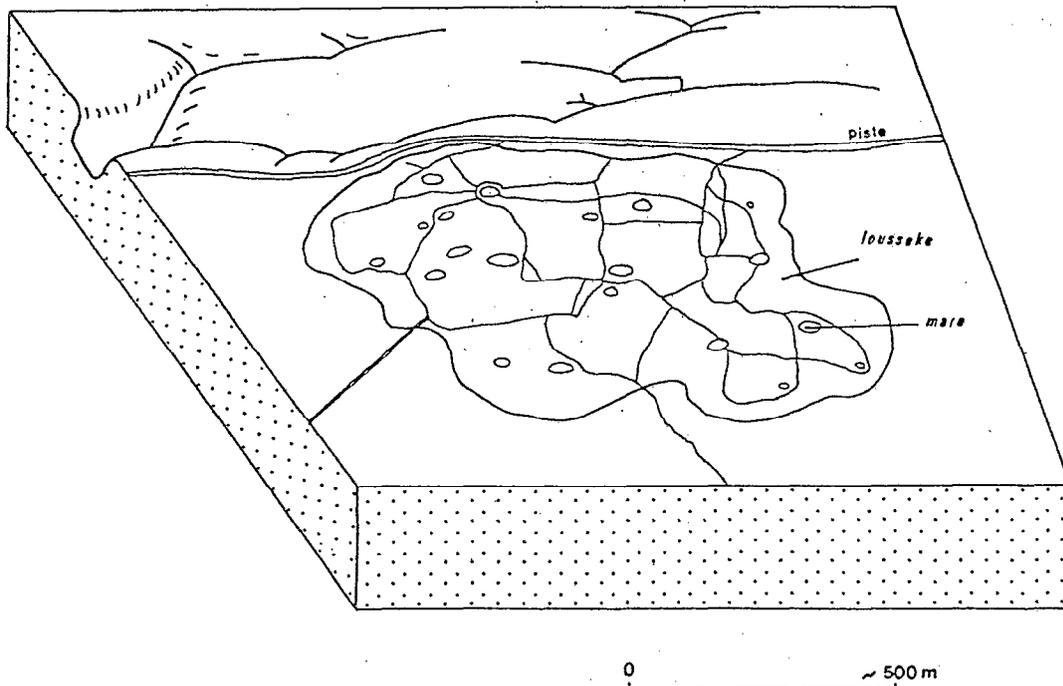


Figure 11.- Le maillage des sentiers dans un lousséké en bordure de vallée sèche (Plateau de Mbé).

d) Construction

Dans la proche région de Brazzaville, où la pression démographique est importante, des loussékés secs et des parties sèches de loussékés mixtes servent de terrains à bâtir.

Trois aspects spectaculaires ressortent le plus souvent :

- le creusement de "mini"-carrières pour la fabrication du béton et des agglomérés,
- la maison elle-même, avec son toit de tôle,
- le défrichage intégral de la parcelle, dont le sol reste à nu (avec disparition progressive du A₁), si l'on excepté les emplacements où quelques arbres (manguiers et arbustes décoratifs) se donnent beaucoup de mal pour pousser.

2.- Dans les sols

La plupart des niveaux archéologiques présents dans les sols sont à lier à des remaniements latéraux de type colluvionnement (Chapitre VII). Cependant, cette explication, tout comme l'enfouissement biologique par les termites, n'est pas toujours convaincante dans le cas de couches relativement récentes, protohistoriques ou historiques. Leur présence, à faible profondeur, est alors certainement liée à des remaniements plus ou moins sur place, liés à l'activité humaine : creusement de fosses pour des motifs divers (tombes, points d'eau, extraction de matériau, nivellement lié à l'habitat, foyers, ...).

D'autres types de remaniements liés à l'activité humaine sont encore à signaler :

a) dans la région de Bamboma, nous avons pu observer, dans une carrière, de magnifiques B_h en bandes, sur près de 2 m d'épaisseur. Ces B_h s'interrompaient verticalement sur quelques bandes, sans qu'il y ait de discontinuité dans le A₂ (Figure 12). Une analogie peut être faite avec PZO*, où la discontinuité verticale des B_h est soulignée par un A_{1p} gris, qui tranche sur le A₂ blanc (Figure 12). Il paraît raisonnable d'envisager que c'est également le creusement d'une fosse, qui est à l'origine du profil observé à Gamboma.

b) au km 45 (Plateau de Mbé), nous avons pu observer des fosses creusées dans l'alios pour y recueillir et y conserver l'eau de source (LANFRANCHI et SCHWARTZ, inédit). BABET (1933) avait déjà signalé l'existence de tels puits. Ces fosses, protégées par un fétiche mis en évidence, servent de façon usuelle. De même, sur PZO, nous avons trouvé, à 5 m de profondeur, une fosse très semblable aux précédentes, mais d'origine plus ancienne, puisque de l'industrie remontant au début du Kibangien y a été récoltée (Chapitre VIII).

Il est intéressant de noter qu'il semble y avoir une sorte de continuité dans l'utilisation des loussékés et dans la façon dont cette utilisation reste visible, l'exemple le plus frappant étant celui de ces fosses creusées dans l'alios.

* Chapitre VIII.

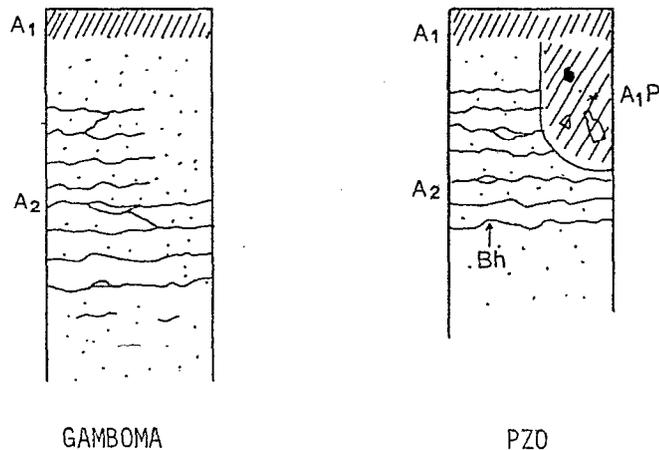


Figure 12.- Profils à B_h en bandes interrompues

Ces remaniements anthropiques peuvent donc perturber très profondément le sol, et cela sur des surfaces importantes, puisque ces traces sont relativement abondantes. Il convient donc d'être extrêmement prudent lors de la description d'un profil, dès que de telles traces apparaissent.

B.- Une végétation climax ou paraclimax ?

1.- Notion de climax

Le climax peut être défini comme un "état d'équilibre atteint par la végétation spontanée sous l'action du milieu naturel tant physique que biotique, en excluant l'action humaine directe ou indirecte, au moins sous sa forme actuelle généralisée" (SAUVAGE et IONESCO, 1965, cités in : DAGET et GODRON, 1974).

Il est également possible de le définir comme "le terme d'équilibre final naturel d'une série évolutive (REY, 1968, cité in : DAGET et GODRON, 1974), la série étant l'ensemble des groupements qui conduisent à un climax par évolution progressive et de ceux qui en dérivent par dégradation.

Une végétation climax résulte donc de conditions d'équilibre atteintes après une évolution plus ou moins longue. Il va de soi que, si les conditions de milieu changent (phases climatiques, dégradation des sols ...), le climax changera également. Cette notion de climax sous-entend une notion évolutive, dynamique, d'adaptation à un environnement.

On distingue deux types de climax : le climax climacique (ou climacique) lorsque seul intervient le climat, et le climax stationnel, quand les conditions particulières de station (pauvreté du sol, hydromorphie, nature du matériau, ...) font que la végétation en équilibre avec ce milieu est différente du climax climacique.

On remarquera que cette notion de climax est purement écologique. Or, l'homme peut parfois transformer de façon considérable et durablement le milieu, et il va de soi que la végétation répondra à cette transformation. Il est alors nécessaire d'introduire la notion de "paraclimax", qui peut être définie comme le "nouvel équilibre d'une formation due à l'action de longue durée de l'homme et différente du climax primitif" (REY, 1960, cité in : DAGET et PODRON, 1974). Une savane anthropique consécutive à des brûlis séculaires est un bon exemple de paraclimax.

2.- Observations sur les loussékés

Ni DUVIGNEAUD (1949) ni DESCOINGS (1960) ne parlent de climax pour les loussékés. Mais il est clair, au travers de leurs définitions des groupements végétaux, qu'ils considèrent implicitement que la steppe à *Loudetia simplex* est bien la végétation climax des loussékés.

KOECHLIN (1961) remarque que la végétation de savane du Sud du Congo est très appauvrie, tant pour les espèces herbacées qu'arbustives, sous l'effet des nombreux brûlis, et que le climax semble forestier. Par conséquent, pour cet auteur "l'équilibre actuel (de savane) artificiellement maintenu, a la valeur d'un paraclimax (fire-climax)".

Nous avons pu faire, dans des zones peu peuplées, des observations qui vont dans le même sens que celles formulées par KOECHLIN. On trouve en effet, dans certaines forêts-galeries, des arbustes de savane noyés dans une végétation différente qui les étouffe, ce qui témoigne bien du dynamisme actuel de la forêt.

Cependant, en ce qui concerne les loussékés, KOECHLIN estime, au vu des conditions très particulières de ces stations (pauvreté du sol, variation du plan d'eau, engorgement du sous-sol), que la prairie à *Loudetia simplex* représente le climax, qui prend donc ici la valeur de climax stationnel, par rapport au paraclimax climatique représenté par la savane.

Que ce soit de manière explicite (KOECHLIN) ou implicite (DUVIGNEAUD, DESCOINGS), un accord semble se faire pour considérer la steppe à *Loudetia simplex* comme la végétation climax des loussékés. En fait, ces relations ne sont peut-être pas aussi directes. On peut en effet observer de nombreux cas de figures, où la végétation steppique est supplantée par d'autres espèces.

a) Dans les loussékés secs

* L'exemple du podzol de la concession ORSTOM est, à cet égard, symptomatique. Avant 1947, date de construction du Centre ORSTOM, la végétation était constituée par une savane plus ou moins arbustive, avec, par endroits, des bosquets anthropiques, ainsi qu'on peut le voir sur les documents de l'époque (photo en annexe). Actuellement, c'est une forêt secondaire dense. Par endroits, différents arbustes de savane sont encore visibles (*Hymenocardia*, *Strychnos* ...). Cette forêt se retrouve également sur la partie podzolisée du site, où son évolution a cependant été contrariée par l'existence de la carrière.

Nous avons là un bel exemple de reprise forestière dans une zone mise en défens contre les brûlis (clôture), en conditions climatiques considérées pourtant comme limites (1 400 mm de précipitations annuelles : AUBREVILLE, 1962), et ce, même sur les sols podzolisés.

Il va de soi qu'une telle unité ne mérite plus le nom de lousséké, unité de paysage à dominante graminéenne.

* D'autres observations, faites dans des zones relativement peu peuplées (entre Zanaga et Ingomina, et au nord de Gamboma notamment), montrent qu'on peut assister à un envahissement du lousséké par une végétation tout à fait comparable à celle des sols ferrallitiques voisins : une savane arbustive à *Hymenocardia acida*, *Annona arenaria*, *Loudetia demoussi*, *Ctenium newtonii*. Dans le cas du lousséké observé à Ingomina, nous n'avons pas effectué de relevés floristiques, mais à l'oeil nu, aucune différence flagrante n'apparaissait entre le lousséké et le sol ferrallitique. A Gangalingolo même, quelques arbustes apparaissent dans les zones les plus sèches.

Ce remplacement de la steppe sèche par une savane à *Loudetia demoussi* semble être assez fréquent. La végétation caractérisant le profil type des "sols podzoliques ferrugineux" de DENIS (1974), en fait un paléopodzol hydromorphe à B_h en bandes et A₂ de 6 m d'épaisseur, est une savane à *Hymenocardia* et *Loudetia demoussi* (de même d'ailleurs que celle de son "pseudopodzol de nappe").

b) Dans les loussékés hydromorphes

*Il y a, dans tous les cas, une galerie forestière plus ou moins développée le long des cours d'eau, preuve de la possibilité de l'existence de forêt sur ces sols très pauvres.

*Nous n'avons pas eu personnellement l'occasion d'étudier des podzols hydromorphes sous forêt, mais De BOISSEZON et GRAS (1970) en signalent, tout comme LE COCQ et BOSSENO (1983).

D'autre part, il faut noter qu'en saison sèche, même les loussékés hydromorphes sont régulièrement soumis aux brûlis. A Gangalingolo, par exemple, chaque parcelle de sol brûle une à deux fois chaque année.

3.- Conclusion

Ces observations étendent, à notre avis, tant aux loussékés secs qu'aux loussékés hydromorphes, les conclusions formulées par KOEHLIN (1961) quant à l'existence d'un "fire-climax" pour les savanes du Sud-Congo. La pauvreté du sol et l'engorgement ne sont pas suffisants pour expliquer à eux seuls la présence d'une végétation steppique.

De multiples observations montrent en effet qu'une végétation plus luxuriante peut pousser sur ces sols. Là encore, l'influence des brûlis paraît prépondérante. La différence de sols induit une réponse différente de la végétation aux brûlis. La steppe lousséké représente un paraclimax stationnel reflétant la pauvreté des podzols, alors que dans les sols ferrallitiques, la dégradation de la végétation s'est arrêtée à un stade de savane plus ou moins arbustive.

Dans les loussékés secs, où le facteur supplémentaire de l'hydromorphie n'intervient pas, l'évolution de la végétation paraît toutefois plus sensible que dans les loussékés hydromorphes.

Au terme de "fire-climax" ou de paraclimax, nous préférons cependant celui de climax anthropique, au risque de choquer les puristes. Nous lui trouvons l'avantage de mettre l'accent sur l'influence de l'homme, composante à part entière des équilibres apparents de l'écosystème lousséké.

CONCLUSION

Les loussékés apparaissent donc comme des paysages étonnamment et densément anthropisés. Dans un sens, ils ont joué et jouent encore un rôle important dans le mode de vie traditionnel des habitants, et d'un autre côté, les hommes ont contribué à les modeler de façon définitive. Nous pensons, en particulier, aux nombreuses mares, qui les parsèment, à la végétation qui est très certainement une conséquence des brûlis.

L'utilisation aussi ancienne que variée de ces paysages reste également profondément marquée dans les sols, où elle permet parfois d'expliquer des morphologies autrement difficilement interprétables.

DEUXIÈME PARTIE

FONCTIONNEMENT ET COMPORTEMENT ACTUEL DES SOLS DE LOUSSÉKÉ (EXEMPLE DU LOUSSEKE DE GANGALINGOLO)
--

Après avoir décrit l'unité de paysage et ses rapports avec son environnement, il convenait d'analyser plus précisément, dans une seconde partie de ce mémoire, le fonctionnement actuel d'une telle unité. C'est le lousséké de Gangalingolo qui nous servira d'exemple, complété, quand il le faudra, par d'autres observations.

Une description de détail du site (Chapitre IV) sera suivie par l'étude de la répartition des sols, en insistant sur les conséquences des gradients d'hydromorphie (Chapitre V). Un dernier chapitre sera consacré à une caractérisation analytique des horizons d'accumulation humique (Chapitre VI).

Chapitre IV : Le milieu et les facteurs de différenciation

Chapitre V : Répartition et dynamique actuelle des sols

Chapitre VI : Constituants et organisation des horizons d'accumulation humique

CHAPITRE IV

LE MILIEU ET LES FACTEURS DE DIFFÉRENCIATION

Le lousséké de Gangalingolo est situé le long de la R.N. n° 1, à 17 km au S.O. de Brazzaville, peu avant la bifurcation vers Linzolo (figures 2 et 13).

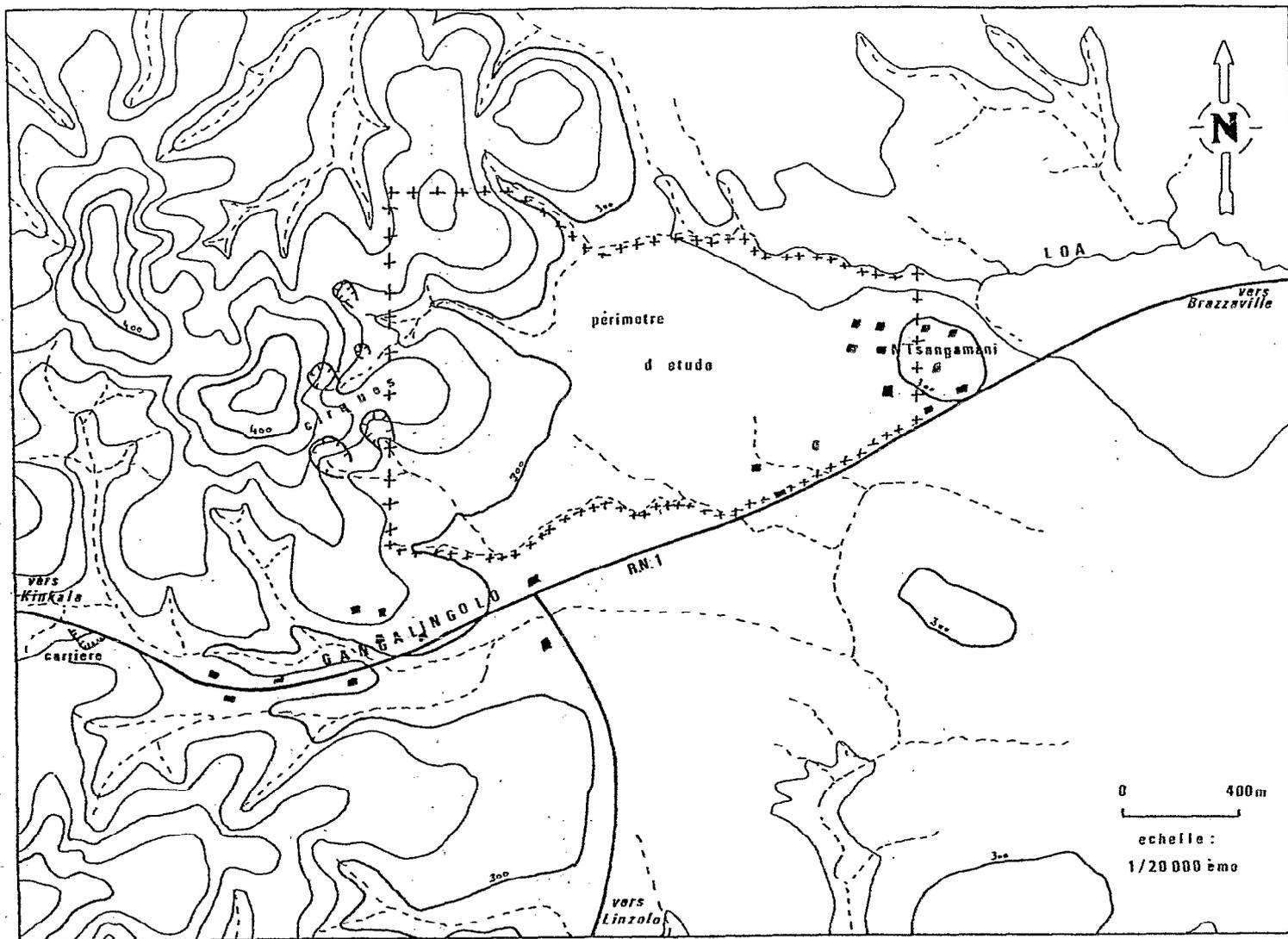
Ce site a été retenu pour diverses raisons complémentaires : proximité de Brazzaville, présence simultanée de zones sèches et hydromorphes, forme géomorphologique simple, sols et végétation semblant, a priori, également obéir à une loi de répartition simple.

I.- DESCRIPTION DU SITE

A.- Le milieu physique

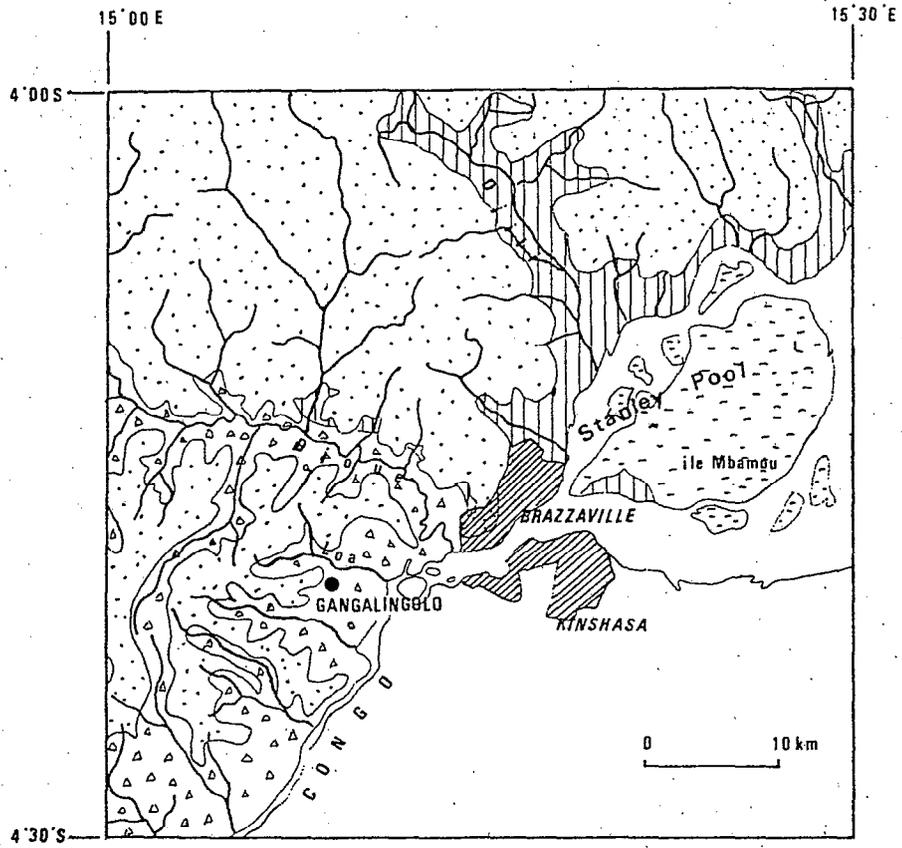
1.- Géologie

La région de Gangalingolo est une zone de contact entre les grès Inkisi et les sables Batéké, dans lesquels se développent les sols podzolisés et des sols ferrallitiques psammitiques. Les sables Batéké affleurent vers l'Ouest et le Nord de la zone étudiée, tandis que les grès de l'Inkisi se trouvent vers le Sud-Est. (Figure 14).



(d'après agrandissement stéréominute IGN 1/50 000 Brazzaville 1c)

Figure 13.- Localisation et topographie du lousséké de Gangalingolo.



(d'après P: DADET. 1969)

▫ sables Bateké

▫ alluvions

▫ grès Inkisi

▫ grès du Stanley Pool

Figure 14.- Carte géologique du Stanley-Pool au 1/500 000.

DADET (1969) rapporte les sables de ce secteur aux couches de grès polymorphes du Ba1, tandis que COSSON (1955) et LE MARECHAL (1966) les rattachent aux sables ocres (Ba2). Des analyses de sables que nous avons effectuées (SCHWARTZ et RAMBAUD, 1983 et Chapitre VII) montrent qu'il y a une nette prédominance de grains usés par l'eau, ce qui permet de les rapporter aux sables ocres.

Une carrière, située à la sortie de Gangalingolo, vers Kinkala (Figure 13), montre le contact brutal entre les sables Batéké et les grès Inkisi. Les caractéristiques de cet affleurement permettent de rattacher ces niveaux de grès au terme inférieur de la série définie par COSSON (1975) (cf. Chapitre I). Ce contact est souligné par une stone-line, apparemment discontinue, et peu épaisse. A partir des cartes topographiques, on peut estimer qu'il est approximativement situé vers les cotes 310-320 m. Des sols développés à partir de matériau Inkisi peuvent également être observés sur la colline où s'élève le village de N'Tsangamani, à une altitude également comprise entre 300 et 320 m. Vers le S.E., ce matériau compose les collines qui s'étendent en bandes étroites vers le fleuve et culminent également à des altitudes analogues.

Ces faits suggèrent deux conséquences :

- la présence assez générale, sous les collines sableuses situées à l'Ouest et au Nord du lousséké, d'un niveau Inkisi plus imperméable que les sables Batéké, à une altitude approximative de 300-320 m.
- la forme dépressive où se trouve le lousséké étudié, située aux alentours de la cote 290 m, est une forme ancienne, développée au départ dans du matériau Inkisi et ennoyée sous des sables Batéké, localement remaniés.

2.- Géomorphologie

L'unité de paysage étudiée est une plaine marécageuse au contact des collines sableuses vers le Nord-Ouest, et des collines développées dans les grès Inkisi vers le Sud-Est (Figure 13).

- Les collines sableuses sont très découpées par un réseau dense de petites vallées. Malgré leurs formes arrondies héritées d'un matériau peu cohérent, des pentes fortes, pouvant dépasser 20 %, existent localement. Quelques cirques d'érosion, nettement visibles sur les photographies aériennes, sont localisés aux têtes de vallées. Cet ensemble, qui culmine vers 420 m, fait partie d'une zone morphologique particulière : les basses collines, qui prolongent vers l'Ouest les plateaux Batéké et les hautes collines.

- Vers le Sud-Est, s'allongeant en bande étroite le long du Congo, les reliefs développés sur les grès Inkisi sont peu marqués. Il s'agit de collines tabulaires, culminant aux alentours de la cote 300 m. Leur pente générale est très faible, de l'ordre de 1,5 %. (BRAUDEAU et MISSET, communication orale). Il s'agit vraisemblablement d'une surface structurale ancienne, entaillée par un réseau hydrographique dont le tracé en bâtonnette souligne des accidents tectoniques.

- La plaine de raccordement prolonge en fait les collines sableuses. Il s'agit d'un glacis colluvial en pente douce (1 à 2 % ; voir carte n° 1 en annexe), qui vient mourir sur les collines Inkisi. L'épaisseur de ce manteau colluvial, qui recouvre une dépression certainement d'origine alluviale ancienne, est difficile à préciser, du fait de l'existence d'une nappe d'eau permanente, qui empêche toute investigation. La seule certitude est qu'il est supérieur à 3 m. C'est dans cette dernière unité que se trouvent les sols podzolisés.

3.- Hydrologie

Cette plaine est drainée par un certain nombre de cours d'eau :

- Vers le Nord, la Loa est un affluent direct du Congo. Son régime est très marqué par les précipitations, mais même en fin de saison sèche, le débit reste important. La Loa a un cours jeune, rapide, surimposé à l'alluvion qu'elle entaille sous forme de cascades sur près d'un mètre d'épaisseur. Sa couleur "thé", due à la présence de matière organique dissoute (acides fulviques) ou en suspension, est typique des cours d'eau de ces zones de podzols.

- Vers le Sud, un certain nombre de marigots, au débit très irrégulier, mais toujours faible (Kélé-Kélé, Lambakwa n'dolo) sont des sous-affluents de la Djoumouna. Leur tracé en baïonnette souligne des accidents structuraux. On peut reconnaître les trois principales directions de failles du Congo : mayombienne (ONO-ESE), combienne (NE-SO), méridienne (N-S).

La nappe d'eau sera étudiée plus en détail dans la deuxième partie de ce chapitre.

B.- Les grandes unités du paysage

Le périmètre d'étude peut se subdiviser en plusieurs zones différentes (Figure 15).

1.- Le lousséké hydromorphe

Il occupe la zone centrale du périmètre d'étude. On peut y distinguer quatre ensembles différents :

* La plus grande partie du glacis colluvial, occupée par la steppe lousséké, vaste plaine à faible pente (1 à 2 %) presque imperceptible à l'oeil.

* Une multitude de petites mares, qui ponctuent cette zone.

* Une zone tourbeuse, qui occupe les points bas et les ruptures de pentes raccordant les cours d'eau à la steppe lousséké.

* Enfin, les exutoires, bordés par une forêt-galerie très dégradée, voire inexistante.

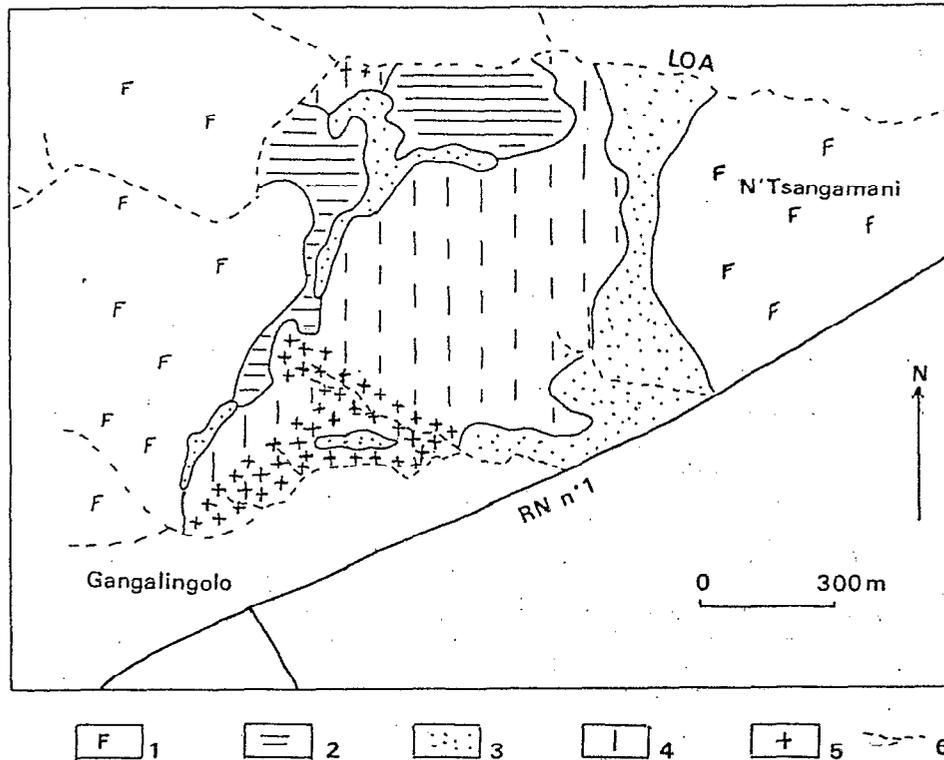


Figure 15.- Les grandes unités morphopédologiques du périmètre d'étude.

1. Sols ferrallitiques des versants - 2. Sols hydromorphes des bordures - 3. Podzols du lousséké sec - 4. Podzols du lousséké hydromorphe - dont : 5. Podzols de la zone tourbeuse - 6. Réseau hydrographique.

2.- Le lousséké sec

Il occupe une frange annulaire discontinue autour du lousséké hydromorphe. Une frange principale se trouve vers le Nord-Ouest. Une carrière de sable y a été ouverte il y a quelques années. La deuxième frange, en bordure Est, n'a pu être étudiée, car située dans le village de N'Tsangamani.

3.- Les zones "marginales"

Les marges sont constituées par les bordures basses des loussékés. Elles sont formées par des sols hydromorphes et ferrallitiques hydromorphes, qui s'étendent au pied des versants.

4.- Le domaine ferrallitique

Le domaine ferrallitique occupe les versants et les sommets des collines qui encadrent le lousséké. Le matériau principal est, bien sûr, le sable ocre du Ba2.

II.- ETUDE DE LA NAPPE D'EAU.

Cette étude nous a permis de préciser les cycles de battement de la nappe et d'en déterminer les principales caractéristiques physico-chimiques.

A.- Aspect dynamique

1.- Méthode

Des piézomètres ont été installés en saison sèche à Gangalin-golo. Il s'agit de tubes PVC de 63 mm de diamètre, entaillés transversalement à la scie tous les 5 cm, afin que l'eau puisse circuler facilement, et enfoncés dans le sol dans un trou préalablement creusé à la tarière.

Le niveau d'arrêt est représenté par l'horizon B_{21h} et l'aliòs dans le cas des podzols, par la nappe permanente dans le cas des sols de bordure. La lecture est faite à l'aide d'un mètre ruban muni d'un plot.

Les mesures ont été, dans un premier temps, effectuées tous les 3-4 jours, afin d'appréhender les variations journalières de la nappe, puis seulement tous les 15 jours ou tous les mois. Elles ont été couplées avec un pluviographe.

Les piézomètres que nous avons installés présentent un certain nombre d'avantages : ils sont peu coûteux, faciles à mettre en place, leur lecture est aisée et précise au cm près. Par contre, ils ont presque tous subi des avanies diverses, qui nous ont parfois obligé d'interrompre les mesures : dégradation (malgré un gardiennage), vols (malgré un socle en béton), fonte de la partie aérienne suite à la chaleur dégagée par les brûlis, tous événements dont il apparaît qu'on ne peut les mésestimer dans ce genre d'étude.

2.- Variations saisonnières

a) Sur l'aliòs (Figure 16)

La nappe disparaît pratiquement totalement à la saison sèche. Seuls les quelques centimètres inférieurs des horizons A₂ sont encore proches de la saturation. L'horizon B_{21h} et l'aliòs restent cependant toujours humides. Dans les zones tourbeuses, la base des profils reste engorgée.

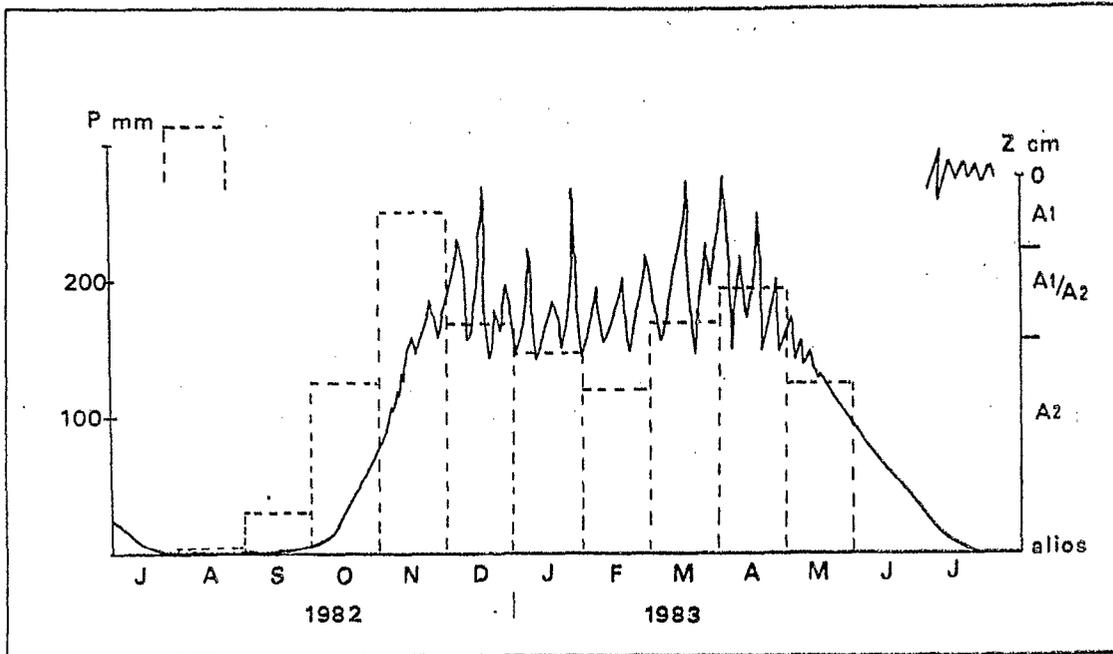


Figure 16.- Représentation schématique des variations annuelles de la nappe perchée sur l'alios (Profil GASC 1, loousséké hydromorphe).

A la saison des pluies, la hauteur de la nappe varie suivant la zone où l'on se trouve :

- elle affleure pratiquement en permanence dans la zone tourbeuse (GASC 7, Figure 17),
- elle affleure sporadiquement dans le reste du loousséké hydromorphe, où elle demeure toutefois toujours proche de la surface, et oscille rapidement en fonction des pluies (GASC 1, figure 17),
- elle n'atteint jamais les horizons supérieurs du sol dans le loousséké sec (GASC 77), où elle peut même être pratiquement inexistante (GASC 71).

On observe un parallèle entre la hauteur de la nappe et le rythme saisonnier des précipitations, avec toutefois un décalage dû à la saturation du sol, lors de la reconstitution de la nappe et à son lent écoulement lors de l'arrêt des pluies. On observe également un décalage dans l'espace : la nappe des sols situés en amont, vers les collines, se reconstitue plus rapidement que celle des sols situés vers l'aval, ce qui signifie que la reconstitution de la nappe n'est pas seulement liée aux apports directs, verticaux, des pluies, mais proviennent également des eaux d'infiltration dans les collines, qui constituent des apports latéraux non négligeables, et s'écoulant assez rapidement.

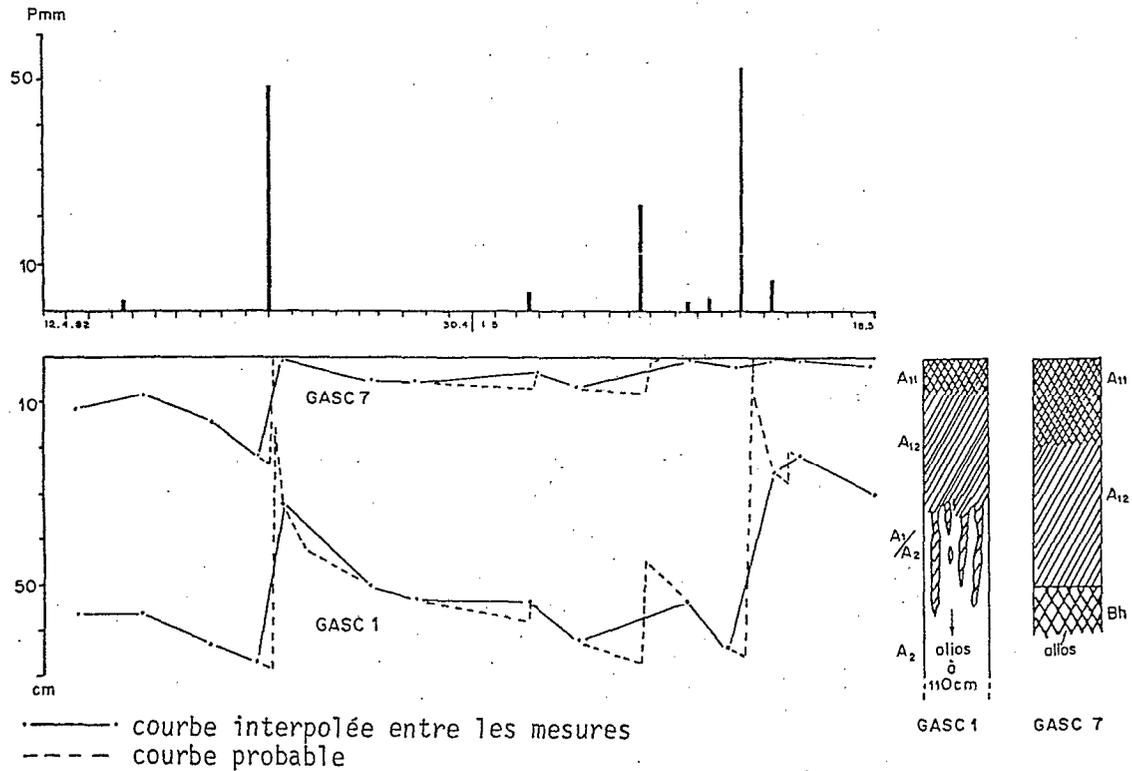


Figure 17.- Exemple de variations de la nappe perchée en fonction de la pluviométrie

b) Dans les sols hydromorphes des bordures de lousséké, la nappe affleure également en surface à la saison des pluies. A la saison sèche, elle baisse considérablement (de plus de 160 cm), mais ne disparaît jamais complètement. La nappe prend ici la valeur de nappe générale liée au niveau de base hydrographique, alors que sur l'alios, il s'agit d'une nappe perchée.

c) Dans les sols ferrallitiques, la nappe n'affleure jamais dans les horizons supérieurs, mais il y a une hydromorphie de profondeur pour les sols ferrallitiques situés en bas de pente. La nappe bat de façon importante également (plus de 2 m). Tout comme pour les sols hydromorphes, il s'agit de la nappe générale.

3.- Variations journalières

a) Comportement général

Ces variations sont directement liées à la pluviométrie. La nappe varie très rapidement en fonction des pluies. La figure 17 présente un exemple représentatif de telles variations, dont un enregistrement en continu aurait montré qu'elles sont encore plus fortes. En effet, les mesures ponctuelles gommant les extrêmes. La montée de la nappe dépend de plusieurs facteurs : intensité de la pluie (lors d'abats brutaux, une partie ruisselle), quantités d'eau tombées, apports latéraux provenant de pluies précédentes, saturation du sol, répétition des pluies. La descente de la nappe est liée à la répartition des pluies (même en saison des pluies, des périodes de 5 à 8 jours sans abats sont possibles), à l'écoulement, à l'évapotranspiration importante (Tableau 3).

Il est donc possible de définir, pendant la saison des pluies, une zone de battement de nappe de faible amplitude, de l'ordre de 40 cm, pour la plupart des podzols hydromorphes, réagissant directement à chaque pluie (figure 17).

b) Cas des pluies importantes

Il nous a été donné d'observer le comportement de la nappe lors d'abats importants : pluie de 40 mm, intensité de 80 mm/h, mesurée sur 30 mn. (I30).

Le sol se sature très rapidement. La vitesse d'infiltration étant plus faible que l'intensité de la pluie, la surface du sol se gorge d'eau en l'espace de quelques minutes. On a alors l'impression effective que l'eau remonte, sort du sol, que le lousséké "déborde".

Il s'écoule alors une eau "couleur de thé", chargée de matière organique. Après la pluie, l'eau en excès est éliminée assez rapidement. Elle ruisselle le long des pistes et des sentiers, le long des pentes et des chemins, pour rejoindre les ruisseaux. Dès le lendemain de la pluie, il ne reste que des flaques d'eau, alors que tout le profil reste saturé, notamment les sols plus riches en matière organique ; au bout de 2 à 3 jours, la nappe retrouve son équilibre.

4.- Circulation d'eau dans l'aliôs

L'aliôs est protégé de la nappe perchée par l'horizon B_{21h}, relativement plus argileux et limoneux, et très compact (densité apparente sèche de 1,9), qui le surmonte (Figure 20). Malgré tout, il y a des circulations d'eau dans cet aliôs, le long des zones de faiblesse : fissures et fentes, zones non indurées, ... Ces circulations paraissent dans l'ensemble limitées. Par contre, il en existe de plus importantes, qui semblent liées à l'existence d'une deuxième nappe. A titre d'exemple, examinons les deux cas suivants :

* GASC 10 : base du profil et de l'aliôs à Z = 320 cm, sommet de l'aliôs à Z = 130 cm. La nappe remonte jusqu'à Z = 300. Au-dessus, seuls quelques suintements sont visibles.

* GASC 1 : situé à 200 m du précédent, à la même altitude. Base du profil et de l'aliôs à Z = 270, sommet de l'aliôs à Z = 110. La nappe remonte en pleine saison sèche à Z = 150-160, et cela extrêmement rapidement : la fosse vidée entièrement se remplissait en 1 à 2 heures. Ce ne sont pas les quelques suintements visibles qui peuvent expliquer ce fait. Seule la présence d'une nappe sous l'aliôs peut être à l'origine de ce phénomène.

Cette nappe est, selon toute vraisemblance, la nappe générale, que l'on retrouve en bordure dans les sols ferrallitiques et hydromorphes. Il y a donc, dans ces loussékés, deux nappes : une nappe générale, liée au niveau de base des rivières, et une nappe perchée, conséquence et non cause de la présence d'un aliôs imperméable, ce qui rejoint des hypothèses faites par BOCQUIER et De BOISSEZON (1959) sur les loussékés des plateaux.

B.- Caractéristiques physico-chimiques

1.- Généralités

L'eau des nappes a été prélevée dans différents sols, ferrallitiques, hydromorphes, podzolisés, pris en toposéquence. On a également prélevé des échantillons provenant des cours d'eau, Loa et Lambakwa n'dolo (cf. Carte n° 1 en annexe), ainsi que de l'eau de ruissellement pendant un "débordement" du lousséké, lors d'une pluie importante.

Il n'a malheureusement pas été possible de faire des prélèvements réguliers et suivis. Les résultats obtenus n'ont donc qu'une valeur ponctuelle, instantanée.

L'analyse a été effectuée après simple filtration sur papier filtre.

2.- Résultats

a) Résultats bruts

Ils sont donnés sous forme de tableau (Tableau VII). On remarquera les faibles amplitudes du potentiel Redox, la teneur en fer quasiment nulle, les fortes variations de la teneur en matières organiques solubilisées et en silice. La concentration en éléments minéraux est dans l'ensemble faible, traduisant la pauvreté chimique du milieu.

Tableau VII.- Analyses d'eaux de nappe et de rivière.

	pH	E (mV)	ρ (k Ω)	M.O. mg/l	SiO ₂ mg/l	Fe mg/l	Al mg/l	Ca ⁺⁺ m.e./l	Mg ⁺⁺ m.e./l	Na ⁺ m.e./l	K ⁺ m.e./l
1. GASC 1 (pz)	6,2	295,8	13,4	7,6	4,38	0	1,3				
2. GASC 7 (pz)	4,3	435,7	30,2	7,4	1,50	0	0				
3. GASC 76 (pz)	4,7	418,9	68,9	3,4	1,00	0	1,9				
4. GASC 10 (pz)	4,6	417,1	58,8	8,2	1,00	0	1,3				
5. GASC 50 (hy)	6,2	317,9	16,0	3,0	3,5	0	0				
6. GASC 54 (hy)	5,2	401,1	84,0	5,2	3,38	0	0,2				
7. GASC 99 (fr)	5,3	383,5	52,1	1,3	6,25	0	0				
8. Lambakwa n'dolo (rv)	4,6	428,4	11,8	3,3	5,38	0	0				
9. Loa (rv)	5,4	390,7	77,3	4,6	7,13	0	0				
10. Lambakwa n'dolo* (rv)	4,7		39,3	14,7	9,0	0,13		0,02	0,01	tr.	0,01
11. Eau de ruissellement*	5,2		64,0	5,1	7,6	0		0,05	0,01	0,03	0,05
12. Nappe sous alios GASC 1**	5,7		69,2	12,2		tr.		0,04	0	tr.	0,11

pz = podzol ; hy = sol hydromorphe ; fr = sol ferrallitique ; rv = rivière.
* et ** = analyses effectuées à des dates différentes.

Il est difficile de comparer ces données à d'autres, vu la rareté des analyses d'eau dans la littérature au Congo. ASTIER (1982) cite un forage sur les plateaux Batéké : pH = 6,0 ; $\rho = 11. \text{k}\Omega$; $\text{SiO}_2 = 31 \text{ mg/l}$; Fe = 8 mg.l. Mais il s'agit d'une nappe profonde. En ce qui concerne les nappes superficielles, nous n'avons pu recueillir d'éléments de comparaison. On remarquera toutefois que la teneur des eaux libres en silice est proche de celle donnée par MEYBECK (1978) pour le fleuve Congo. Par contre, la teneur des autres éléments est très inférieure à celles relevées par cet auteur.

b) Comparaison des différents cas de figures

Vu le petit nombre d'analyses, cette comparaison ne peut donner que des tendances :

- la nappe des podzols se distingue surtout par son taux de matière organique assez élevé, son taux de silice faible et la présence d'aluminium.

- celle des sols hydromorphes se caractérise par un pH et un taux de silice plus forts, un taux d'aluminium nul et de matière organique plus faible.

- le seul sol ferrallitique analysé semble accentuer cette tendance.

- Les eaux courantes sont, quant à elles, caractérisées par un taux de silice et de matière organique relativement élevé, des teneurs en autres éléments quasiment nulles, en particulier pour le fer. La matière organique est peut-être en partie apportée par le ruissellement.

III.- CONCLUSION

Cette brève étude nous a permis de cerner les facteurs de différenciation des sols du lousséké de Gangalingolo.

En particulier pour ce qui concerne le régime hydrique, nous avons pu mettre en évidence quelques points importants :

- * L'existence de deux nappes, l'une générale, liée au niveau de base local, et dont le plancher est constitué à une profondeur inconnue, par le grès de l'Inkisi, l'autre temporaire, perchée sur l'aliôs. Celui-ci constitue ainsi à la fois le toit de la nappe phréatique et le plancher de la nappe perchée (Figure 18).

- * L'existence de deux cycles de battement de la nappe perchée : un cycle journalier, à amplitude faible, en liaison directe avec les précipitations, un cycle saisonnier, à amplitudes plus fortes, marquées par le régime des pluies (figures 16 et 17).

- * Une origine double de la nappe perchée : apports directs par les précipitations, mais aussi apports indirects d'eau d'infiltration, provenant des collines sableuses, situées à l'Ouest du lousséké et s'écoulant vers l'aval, comme le montre le décalage dans le temps de la reconstitution de la nappe perchée d'amont vers l'aval (Figure 18).

* La faible concentration de la nappe en éléments chimiques, reflétant la grande pauvreté des sols - seul la silice faisant exception - contrastant avec une relative richesse en matière organique solubilisée dans les horizons de surface des sols podzolisés, et que l'on retrouve ensuite dans les cours d'eau (Tableau VII).

Ainsi qu'on le verra dans le chapitre suivant, les nappes d'eau jouent un grand rôle sur la différenciation et la morphologie des sols.

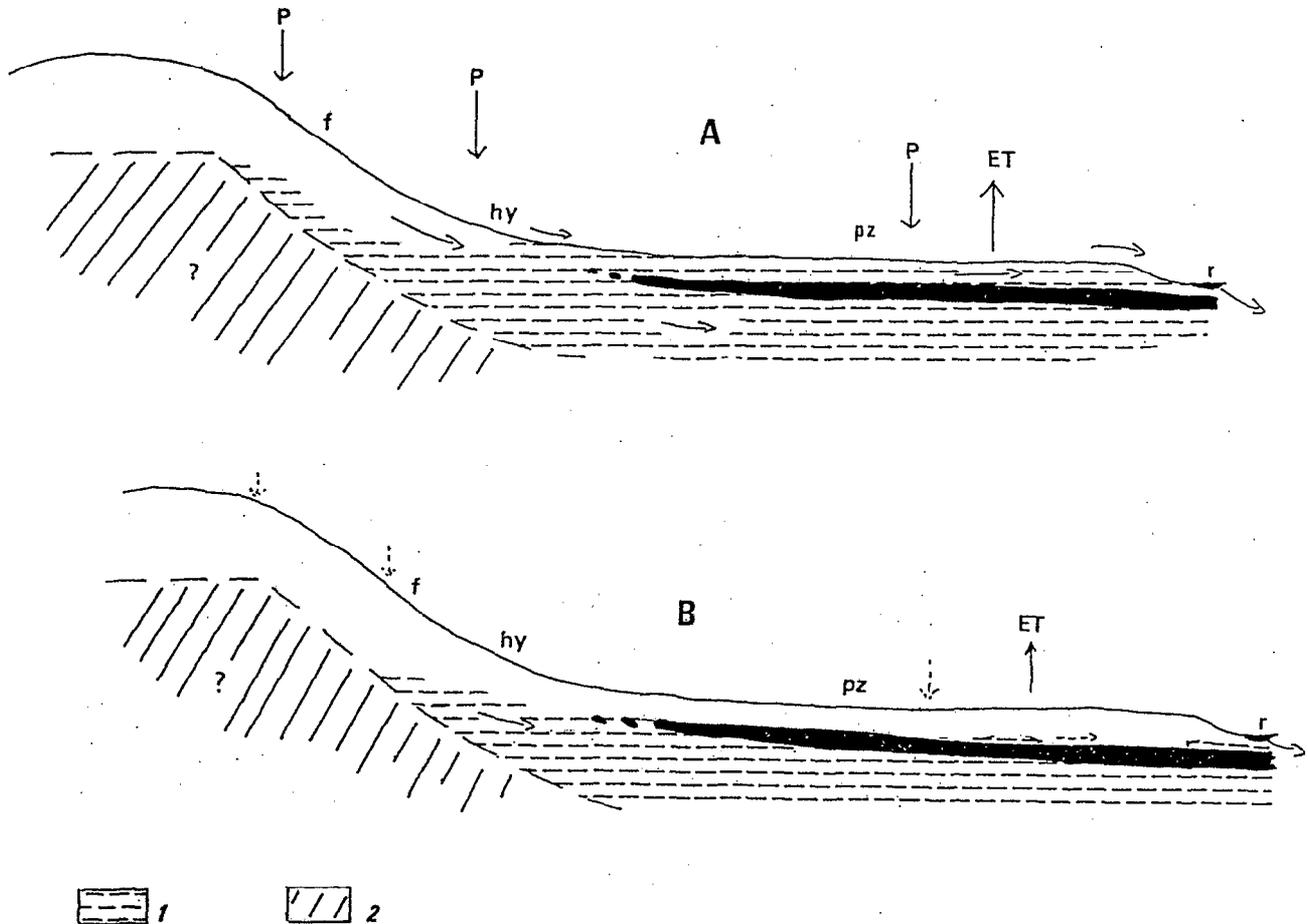


Figure 18.- Circulation d'eau dans le lousséké de Gangalingolo (Schématique).

A = Saison des pluies - B = saison sèche - P = Précipitations
 ET : évapotranspiration - f = sols ferrallitiques - hy = sols hydromorphes - pz = podzols - r = cours d'eau.
 1 = nappe - 2 = substratum Inkisi imperméable (profondeur réelle inconnue).

CHAPITRE V

RÉPARTITION ET DYNAMIQUE ACTUELLE DES SOLS

INTRODUCTION

Compte tenu de ce qui précède, il convient de distinguer une hydromorphie ancienne, qui a induit la formation des podzols, et une hydromorphie plus récente, responsable de leur dynamique actuelle, dont il sera exclusivement question ici.

Deux problèmes se sont posés à nous dans la rédaction de ce chapitre :

- Un problème de présentation : Nous avons choisi de faire, dans un premier temps, une description monographique des sols du lousséké de Gangalingo. Nous nous indiquerons par quelques transects leur enchaînement dans l'espace, avant d'étudier l'influence de l'hydromorphie sur leur morphologie et leur fonctionnement actuel. Afin de rendre la description des sols moins ardue, et de mieux comprendre leur répartition, on se référera utilement aux cartes n° 1 et n° 2 jointes en annexe.

- Un problème de nomenclature : En raison de l'échelle du travail et de l'aspect fossile de la formation des podzols, qui sont des paléopodzols hydromorphes (IIIème partie), la nomenclature habituelle est ici peu utilisable. En particulier, il n'y a pas, pour les humus tropicaux, de classification pratique, analogue à celle établie par DELECOUR (1980) pour les humus tempérés.

Nous nous sommes inspirés des critères retenus par cet auteur, en tenant compte des caractères spécifiques des humus tropicaux. Nous indiquons au fur et à mesure les correspondances entre nos termes et ceux définis par DELECOUR.

Nous développerons ce point dans les conclusions du chapitre, le présent paragraphe n'ayant d'autre but que de justifier par avance les termes employés.

I.- DESCRIPTION MONOGRAPHIQUE DES SOLS DE GANGALINGOLO (carte n° 2)

Nous étudierons successivement les sols des différentes unités morphopédologiques définies au chapitre précédent : sols du lousséké hydromorphe, du lousséké sec, des "marges" externes, des versants et collines (figure 15). Les analyses des profils et les relevés floristiques des stations les plus typiques sont donnés en annexe.

A.- Sols du lousséké hydromorphe

Dans le lousséké hydromorphe, nous distinguerons deux groupes de sols : les podzols à humus riches en matières organiques (anmoor et saprist) des zones les plus engorgées, et les podzols à hydromull.

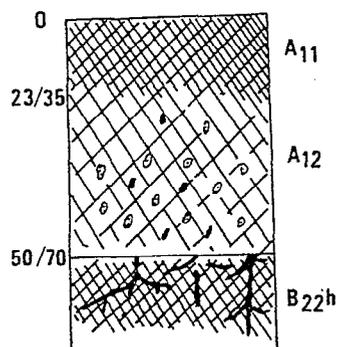
1.- Sols à anmoor et humus semi-tourbeux

a) Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire et à humus semi-tourbeux (unité 4 de la carte n° 2)

Ces sols sont situés en bordure de cours d'eau, près des niveaux de base donc. Ils sont, par conséquent, engorgés toute l'année. Un petit battement de nappe, d'une quinzaine de centimètres, existe toutefois en saison des pluies. Pendant la saison sèche, la nappe peut baisser de plus de 40 cm, mais le profil demeure malgré tout très humide au-dessus des horizons engorgés. Ces sols sont caractérisés par l'absence d'horizon A₂, ce qui paraît lié à la faible épaisseur de matériau meuble au-dessus de l'ALios, et à l'engorgement quasi permanent du sol.

Les horizons humifères se divisent en horizons A₁₁ et A₁₂. L'horizon A₁₁, peu épais (15-20 cm) a des caractéristiques de tourbe bien décomposée (saprist), mais les teneurs en matière organique (de l'ordre de 15 à 25 %) n'en font qu'un horizon semi-tourbeux. Son toucher onctueux ne rend cependant pas compte de la présence de 80 % de sables. L'horizon A₁₂, gris, est nettement moins riche en matières organiques.

La végétation est une végétation de tourbière, variée, à base d'*Hy-pogynium spathiflorum*, *Panicum nervatum* (graminées) et *Dissotis heliotti* (melastomacées).



- A₁₁ (0-25/35 cm) : semi-tourbeux, à matière organique de type saprist. Toucher onctueux, 15 à 30 % de M.O. Peu de débris, non reconnaissables. Racines très visibles. Transition nette.
- A₁₂ (25/35-50/70 cm) : 7,5 YR4/1,5. Sableux. Saturé à partir de 40 cm. Structure particulière. Nombreuses taches blanches formant des micro-A₂ le long des racines. Taches de M.O. plus sombres par endroits, sur fond gris. Nombreuses petites racines fines. Transition brutale.
- B_{22h} (50/70 à ? cm) : aliotique. La partie sommitale est noire sur 2-3 mm ; brun ensuite. Contient de nombreuses racines d'espèces arborées.

Remarques : - l'horizon B_{21h} (voir plus loin) est ici absent.
 - la présence d'une pierre taillée à la surface de l'aliôs montre que les horizons supérieurs ont pu être décapés à un moment donné. La granulométrie des sables montre d'ailleurs, sur ce profil, et uniquement sur ce profil, un léger tri.

Variations : - L'aliôs peut être meuble sur sa partie sommitale.
 - Un A₂ peu épais peut exister en bordure d'unité.

Figure 19.- Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire et à humus semi-tourbeux (profil GASC 7)

Variante : A la tête du Lambakwa n'dolo, se trouvent localisés des podzols, dont les horizons de surface présentent les mêmes caractères que les précédents. Cependant, en raison de la présence d'un horizon A₂, nous en avons fait une unité différente (unité 3 de la carte n° 2) ; cette unité regroupe des podzols à aliôs et sans aliôs, la distinction entre ces deux types étant ici impossible en raison de la fluence du matériau. L'engorgement quasi permanent paraît lié à la présence d'une source. La présence d'un horizon A₂ est due à la plus grande profondeur de ces sols (paléopodzols humiques ou non, à nappe secondaire et à humus semi-tourbeux).

b) Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire et à anmoor oligotrophe (unité 5a)

Ce sont les sols des mares temporaires, qui occupent de petites dépressions subcirculaires d'une dizaine de mètres de diamètre, d'une profondeur de 40 cm environ et parsèment la surface du lousséké hydromorphe. L'eau y affleure de façon à peu près continue pendant 7 mois. Le reste du temps, le profil est complètement sec et la matière organique peut se minéraliser. Cette matière organique correspond à un anmoor, tel qu'il est défini par DELECOUR, c'est-à-dire un humus semi-terrestre, à couche organique O₁ mince ou discontinue. Il est relativement épais, 10 à 20 cm, et suivi d'un horizon A₁₂. Les taux de matière organique sont assez élevés, jusqu'à 20 % en

saison des pluies. Les horizons A₂, B_{21h} et l'aliòs sont en parfaite continuité sous ces mares (Figure 28).

La végétation forme des associations concentriques selon le gradient d'hydromorphie.

On notera l'existence d'un faciès anthropique caractérisant une mare creusée pour l'extraction du sable (unité 5b).

2.- Les sols à hydromull

- a) Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire, typiques, à hydromull, série plus humide (unité 6) et série plus sèche (unité 7)

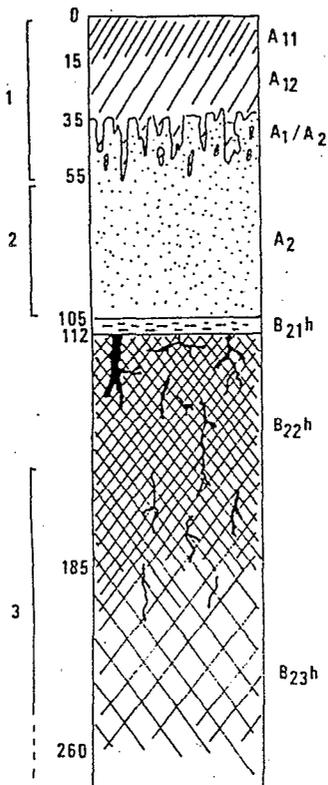
Ces sols forment la majeure partie du lousséké hydromorphe. Les battements de la nappe y sont très importants. Pendant la saison sèche, la nappe disparaît pratiquement complètement. A la saison des pluies, son oscillation entre la surface du sol et l'horizon A₂ définit une zone caractérisée par l'existence de glosses de matières organiques (horizon A₁/A₂ : cf. figures 16, 17 et 20). Les taux de M.O. de l'hor. A₁ varient de 3 à 8 % selon l'époque de prélèvement. En raison de l'absence de couches L et F, et de l'engorgement temporaire, nous définirons l'humus comme un hydromull, malgré un C/N relativement élevé (20 à 25).

Les unités 6 et 7 se différencient facilement sur les photographies aériennes, par des intensités de grisé différentes. Par contre, sur le terrain, elles sont très semblables morphologiquement, et le meilleur critère de distinction est la végétation, qui reflète les gradients d'hydromorphie : la présence de *Mesanthemum radicans* caractérise la série la plus humide, celle de *Ctenium newtonii* la série la plus sèche.

La limite entre ces deux unités très proches fluctue certainement en fonction de l'existence de cycles d'années plus sèches ou, au contraire, plus pluvieuses.

Ces sols sont caractérisés par un aliòs humique épais, d'environ deux mètres, contenant très fréquemment des racines fossiles d'espèces arborées (cf. Chapitre IX).

La végétation est clairsemée, à base de *Loudetia simplex*, *Monocymbium ceresiiforme* et *Bulbostylis laniceps*. Entre les touffes, des taches noires, charbonneuses, témoignent, en saison sèche surtout, de l'existence de brûlis. On notera fréquemment, à cette même saison, l'existence de croûtes lie de vin, qui se desquament sur les bords : il s'agit d'une pellicule de lichens ou d'algues.



*A₁₁ (0-15 cm) : gris (7,5 YR 4/0), sec, sableux. Structure particulaire et micro-agrégée peu développée ; très nombreux quartz déliés ; nombreuses racines ; transition régulière, distincte.

*A₁₂ (15-35 cm) : gris (7,5 YR4/1) jusqu'à 25 cm, 10 YR 5/1 ensuite. Sec, sableux, particulaire et microagré. Racines fines. Transition régulière, distincte.

*A_{1/A2} (35-55 cm) : glossique, sec, sableux, particulaire. Glosses de M.O. descendant dans le A₂, nombreuses, de taille variable.

*A₂ (55-105 cm) : Blanc beige (10 YR 7/2), frais, sableux, particulaire. Transition brutale, horizontale.

*B_{21h} (105-112 cm) : gris (7,5 YR 5/1 à 5/2), humide, sablo-argileux, très compacté, massif. Transition brutale.

*B_{22h} (112-185 cm) : brun noir, induré en alios (sauf entre 112 et 117 cm où il est meuble) ; humide. De nombreuses racines, pour la plupart verticales, traversent l'alios à l'emporte-pièce. Par endroits, elles s'insinuent dans l'alios en suivant des plans horizontaux. Par endroits, B_{22h} plus induré que la moyenne ; présence de sables déliés. Transition graduelle.

*B_{23h} (185-260 cm) : brun chocolat ; induré en alios. humide à noyé (nappe remontante). Racines arborées jusqu'à 205 cm environ. Pas de sables déliés. Jaunit vers la base.

B₃ ? C ? (> 260 cm) : sables jaunes, fluants.

Figure 20.- Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire et hydromull (profil GASC 1).

1. Battement de la nappe pendant la saison des pluies
2. nappe perchée permanente pendant la saison des pluies
3. nappe générale remontant ici dans l'alios.

Remarques : Présence d'une pièce bifaciale à 78 cm de profondeur. La distinction entre B_{22h} et B_{23h} n'est pas toujours aussi nette. En effet, dans le B_{22h}, on trouve également des zones plus brunes. La couleur noire de la partie supérieure de l'alios est liée au taux plus important d'acides humiques (voir chapitre suivant).

Variations: Existence, parfois, de remaniements latéraux de faible amplitude et faible épaisseur, se traduisant par des superpositions d'A₁₁. Ainsi, GASC 83 présente deux A₁₁ superposés, dont le second (A_{11b}) est plus sombre et plus riche en matière organique.

L'épaisseur de l'horizon A₁/A₂ peut atteindre 40 cm.

L'épaisseur de sol au-dessus de l'aliol varie de 50 à 220 cm.

L'horizon B_{21h} est systématiquement présent. Il suit toujours le contour de l'aliol et de ce fait, peut être ondulé ou même localement indenté. Sa couleur est variable. Il est par endroits très sombre en surface.

L'épaisseur de la partie meuble du B_{22h} varie de 0 à 20 cm en surface de l'aliol. Elle forme un continuum avec celui-ci : les racines arborées fossiles les traversent tous les deux à l'emporte-pièce. Ces racines sont par contre absentes dans le B_{21h}.

Présence d'un important horizon organique, certainement enfoui dans GASC 98 (Cf. Chapitre 9).

Présence d'un horizon plus sombre, ocre, d'extension très réduite dans le A₂ de GASC 30. L'analyse n'a pas permis de montrer à quoi était due cette couleur.

L'aliol n'a été percé que dans deux profils : l'épaisseur relevée est de 160 cm pour GASC 1 et 180 cm pour GASC 10.

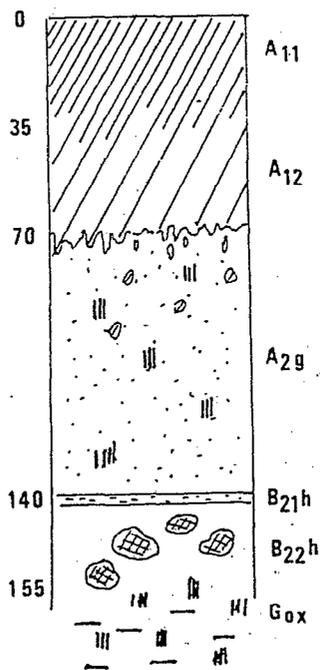
b) Variantes

Aux abords de la zone tourbeuse, le changement net de végétation et quelques variations dans le profil permettent de définir une unité de transition (unité 9 de la carte), large de quelques mètres. Elle occupe la rupture de pente, entre la steppe lousséké et la zone tourbeuse. L'ensemble A₁₁ + A₁₂ peut atteindre 80 cm d'épaisseur, les taux d'humus sont légèrement plus élevés que précédemment.

Sur le terrain, le meilleur critère de reconnaissance est la végétation. En effet, l'espèce dominante est *Monocymbium ceresiforme*, tandis que disparaît *Loudetia simplex* et apparaissent de grandes touffes d'*Hyparrhenia diplandra*.

c) Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire et à hydromull, à taches d'oxydoréduction dans le A₂ (unité 8)

Cette unité d'extension restreinte est située vers la Loa. Sa localisation à la zone d'émergence de la nappe, et le fait qu'une partie de celle-ci traverse des sols ferrallitiques où elle a pu s'enrichir en fer, expliquent les taches d'oxydoréduction dans le A₂ (Figure 21).



*A₁₁ (0-35 cm) : gris (7,5 YR 3,5/1), sec, sableux, particulaire, microagrégé fragile par endroits. Chevelu racinaire en surface. Transition graduelle.

*A₁₂ (35-63 cm) : gris (7,5 YR 4/2), sec, sableux, particulaire, microagrégé par endroits. Charbons de bois à 60 cm. Présence de glosses de matière organique, mais trop peu marquées pour en faire un horizon à part. Transition graduelle.

*A₂ (63-140 cm) : légèrement humide. 7,5 YR 6/2. Sableux, particulaire ; dans la partie supérieure, nombreuses taches de M.O. (20-30 %). Nombreuses taches d'oxydo-réduction jaune d'or (10-20 %), plus grande dans la partie inférieure de l'horizon. Transition nette, ondulée.

*B_{21h} (140-145 cm) : gris, plus argileux et limoneux, compacté. Transition brutale.

*B_{22h} (145-155 cm) : 10 YR 7/3,5. Humide, sablo-argileux, avec des nodules indurés contenant de la matière organique.

> 155 cm : 10 YR 7/3,5. Sablo-argileux. Nombreuses taches rouilles. Nappe à 170 cm.

Figure 21.- Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire et à hydromull, à taches d'oxydo-réduction dans le A₂ (Profil GASC 92)

Remarques : GASC 92 se trouve près de la limite de l'unité et ne présente que quelques nodules indurés. L'aliou apparaît cependant assez rapidement. Il affleure en bordure de rivière, entaillé sur près d'un mètre d'épaisseur (Photo en annexe).

B.- Les sols du lousséké sec

Ces sols forment une première bordure autour du lousséké hydromorphe. Ils sont caractérisés par le fait que la nappe n'atteint jamais les horizons de surface, et n'a donc aucune influence sur l'évolution de la matière organique. Elle peut être totalement absente par endroit (carrière).

1.- Paléopodzols humiques ou non, à mull acide (Unité 10a)

En l'absence d'engorgement, il peut y avoir minéralisation de la matière organique toute l'année. Les taux de matière organique sont donc moins élevés que dans le lousséké hydromorphe : ils varient de 1,5 à 4 %. En l'absence de couches L et F, nous assimilons cet humus à un mull acide. Le passage entre les horizons A₁ et A₂ se fait graduellement.

L'alios est le plus souvent classique, mais en bordure externe du lousséké, il est moins épais, constitué à la limite de simples nodules, ou même, localement absent. On a ainsi deux cas extrêmes : le paléopodzol humique, typique, et un paléopodzol à B_h nodulaire, voire absent, sous lequel apparaît le matériau sableux ocre, et qui assure la transition avec les sols ferrallitiques.

Il est également possible de trouver des nodules enrichis en matière organique (jusqu'à 5 %), d'une taille avoisinant les 20 cm dans les horizons A₂. TURENNE (communication orale) en a également observé dans les sols de transition podzols-ferrallites, mais n'a pas plus que nous d'explication tangible quant à leur présence.

Variante : Dans certains profils, de petites taches rouilles, présentes dans la partie inférieure de l'horizon A₂, témoignent d'un engorgement temporaire dans ce niveau.

La végétation est essentiellement constituée de *Loudetia simplex*, *Ctenium newtonii*, *Digitaria brazzae*.

La figure 22 présente des exemples de tels sols.

La présence d'un faciès anthropique permet de distinguer une sous-unité (unité 10b de la carte).

2.- Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire, à mull acide (unité 11a de la carte)

Cette unité assure la transition entre les podzols typiques du lousséké hydromorphe et l'unité précédente. La nappe n'atteint jamais la surface, mais baigne sporadiquement la base de l'horizon A₁₂. Il y a donc de petites glosses de matière organique, sans réel horizon A₁/A₂ toutefois. La nappe ne joue aucun rôle sur l'évolution de l'humus, qui est le même que dans l'unité précédente ; nous incluons donc ces sols de transition parmi ceux du lousséké sec (Tableau X). La présence d'un faciès anthropique permet de distinguer une sous-unité (unité 11b de la carte).

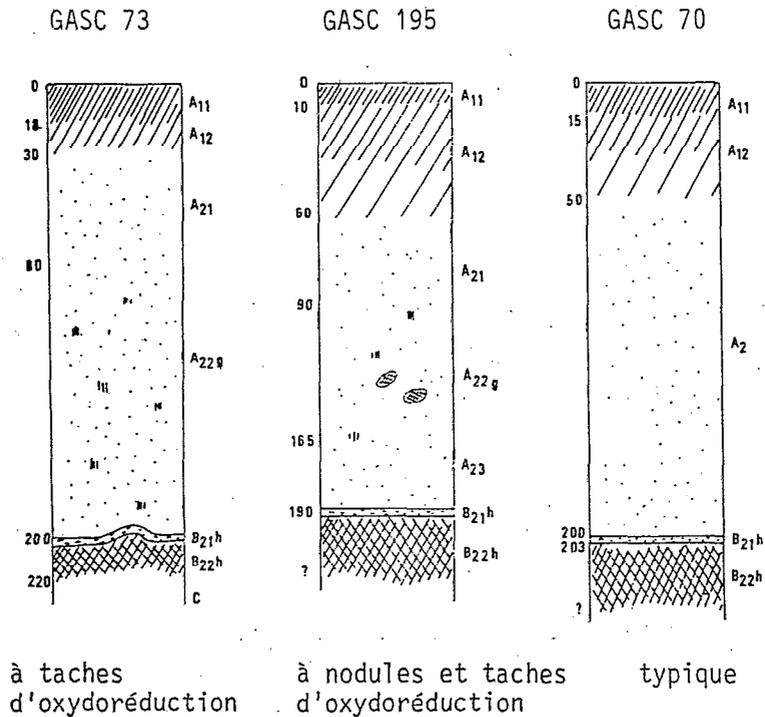


Figure 22.- Exemples de paléopodzols humiques à mull acide.

- Remarques :
- La structure des horizons A₁ est plutôt particulière, mais il existe une surstructure microagrégée très fragile ;
 - On remarque de temps à autre, dans le A₂, la présence de quelques taches de matière organique (percolation ou matière organique décomposée sur place ?) ;
 - Dans certains cas (GASC 195 par exemple), on trouve, dans le A₂, des nodules de taille variable, parfois 20 cm, plus ou moins indurés, contenant près de 5 % de matière organique.

C.- Les sols des "marges" externes

1.- Les sols hydromorphes

a) Sols peu évolués d'origine alluviale, hydromorphes, sur sables Batéké (unité 1)

Ces sols, noyés en permanence, sont très difficiles à étudier. Ils présentent certainement des variations importantes. Ils se développent sur certaines portions, le long des cours d'eau. Nous donnerons, à titre d'exemple, les observations faites au cours d'un sondage : GASC 123 (bordure de forêt-galerie, noyé depuis la surface).

A₀ (+ 5-0 cm)

A₁ (0-30 cm) semi-tourbeux

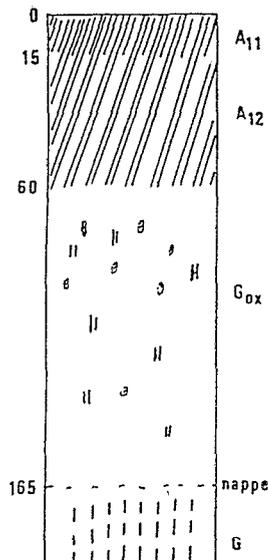
30-120 cm : sableux, gris, contenant de la matière organique

120-200 cm : sable blanc, quelques taches rouilles de 120 à 130 cm.

b) Sols hydromorphes, moyennement humifères, à gley, sur matériau sableux (unité 2)

Cette unité assure la transition entre les unités 3 et 16. Elle représente un des termes de passage entre les sols ferrallitiques et le lousséké hydromorphe. Ces sols sont relativement humifères (10 % de matière organique sur 60 cm d'épaisseur). L'horizon G est complètement blanchi, à peine jaunâtre, mais les taux d'argile (entre 5 et 7 %) et de fer (0,6 à 1 %) distinguent ce sol nettement des podzols.

Profil type : GASC 48 (Figure 23).



A₁₁ (0-15 cm) noir (10 YR 3/1), sec, grumeleux, peu développé, fragile ("pseudosables"); sablo-limoneux. Chevelu racinaire fin, moyennement dense. Transition distincte.

A₁₂ (15-62 cm), noir (10 YR 3/1, puis 3/2), sec. Structure "fluffy" peu nette. Sablo-limoneux. Pas de chevelu, mais nombreuses racines fines et très fines (1 mm). Quelques charbons de bois vers 50 cm. Transition diffuse, légèrement ondulée.

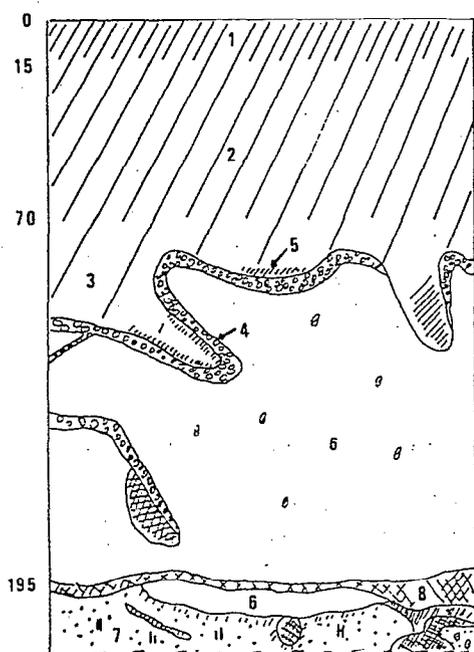
G (62->180 cm), humide, noyé à 165 cm. Sablo-argileux. Pas de différenciation texturale du haut vers le bas. Nombreuses taches de matière organique grises (10 YR 4/1 et 5/1) sous forme de glosses, de taches rondes ou ovales, ne dépassant pas le cm.: 20-30 % jusqu'à 100 cm, moins de 5 % ensuite. Très petites taches rouilles de réoxydation le long de la macroporosité, s'arrêtant au niveau de la nappe. Structure "fluffy".

2.- Les sols ferrallitiques de bas de pente

Ce sont les sols qui assurent la transition entre les sols podzolisés et/ou hydromorphes du lousséké et les collines sableuses.

a) Sols ferrallitiques fortement désaturés, psammitiques, hydromorphes, série podzolisée (unité 12)

On les trouve le long de la bordure Nord du lousséké. D'un point de vue microtopographique, ils sont légèrement surélevés par rapport aux podzols. Il est difficile d'en donner une description précise, les limites étant très fluctuantes, et délimitant davantage des grandes zones que de réels horizons subhorizontaux.



- (1) A₁₁ (0-15 cm) : 10 YR 4/2. Sableux, sec, particulière.
- (2) A₁₂ (15-70 cm) : 10 YR 4,5/2. Sableux, sec, particulière.
- (3) A₃ (70-95/125 cm) : encore relativement organique (1,3 % de M.O.). Limite très irrégulière.
- (4) 95/125-105/125 : petit horizon discontinu, très irrégulier, formé de concrétions jaune d'or et rouilles plus ou moins indurées. Il s'agit d'un horizon d'accumulation de fer (1,36 % de fer total contre 0,24 à 0,72 % pour les autres horizons), de transition entre A₃ et B₂. Cet horizon marque également le niveau le plus haut atteint par la nappe à la saison des pluies.
- (5) Accumulation discontinue de matière organique.
- (6) 105/125-195 : horizon B_{2g} jaune pâle (10 YR 7/4), à nombreuses taches de M.O. Porosité assez bonne. Structure fluffy.
- (7) 195-? : A₂ podzolique, avec, par endroits taches jaune d'or (fer) et de matière organique. Nettement appauvri en argile.
- (8) B_n aliotique, localement induré.

Figure 24.- Sol ferrallitique fortement désaturé, psammitique, hydromorphe (série podzolisée) (profil GASC 95)

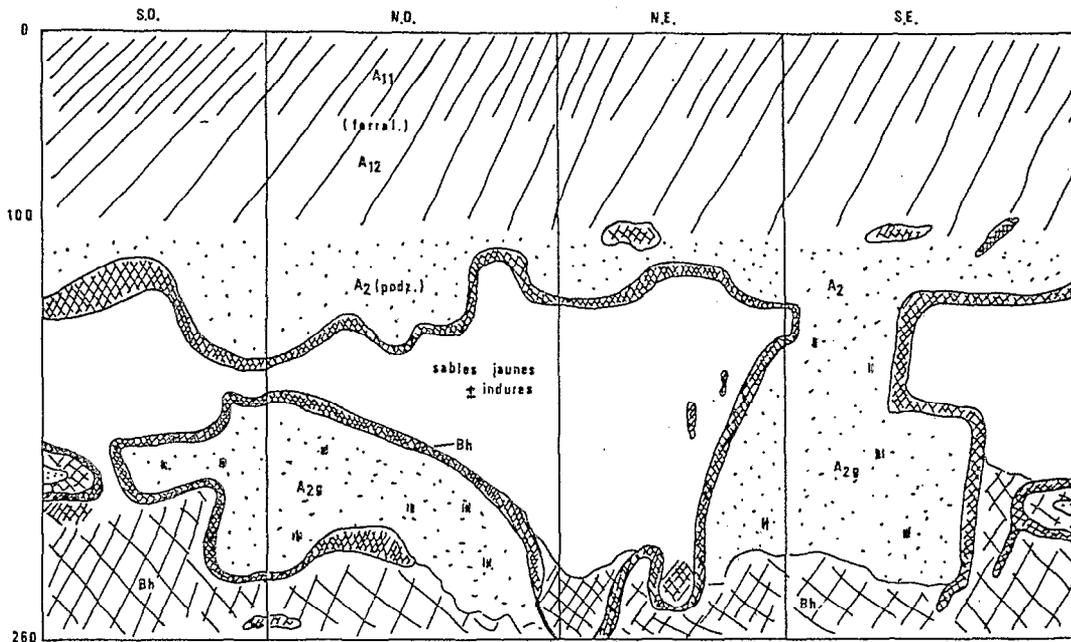


Figure 25.- Sol ferrallitique fortement désaturé, psammitique, hydromorphe, série podzolisée (Profil GASC 96).

Les figures 24 et 25 donnent des exemples de tels profils. La caractéristique essentielle de ces sols est la juxtaposition de caractères ferrallitiques et de caractères de sols podzolisés : A₂ formé apparemment par soutirage dans la zone engorgée en permanence, et B_h meuble ou partiellement induré, nodulaire, au contact entre les zones podzolisées et ferrallitiques.

b) Sols ferrallitiques fortement désaturés, humifères, appauvris, hydromorphes, sur sables batéké (unité 18)

Les horizons A₁ et A₃ de ces sols sont très épais, de l'ordre du mètre au total. L'hydromorphie affecte les horizons B pendant environ 5 mois de l'année. Ils sont de ce fait légèrement pâlis (10 YR 5/4 au lieu de 10 YR 5/8 pour des sols non hydromorphes). On notera également la présence d'une ligne de concrétions qui, d'une part, sépare les horizons A des horizons B, et d'autre part marque le niveau le plus élevé atteint par le toit de la nappe à la saison des pluies. Cette ligne est enrichie en fer, vraisemblablement mobilisé dans les horizons B. Les concrétions sont analogues à celles de l'unité précédente. Les horizons A sont nettement appauvris en argile, sans qu'il y ait d'horizons A₂.

Ils se trouvent en position relativement plane, en bas de versants. La figure 26 montre un exemple de ces sols.

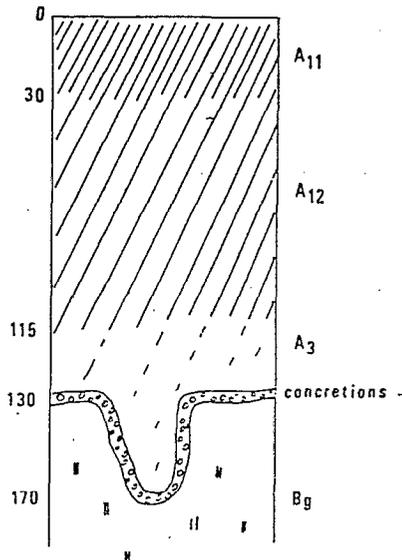
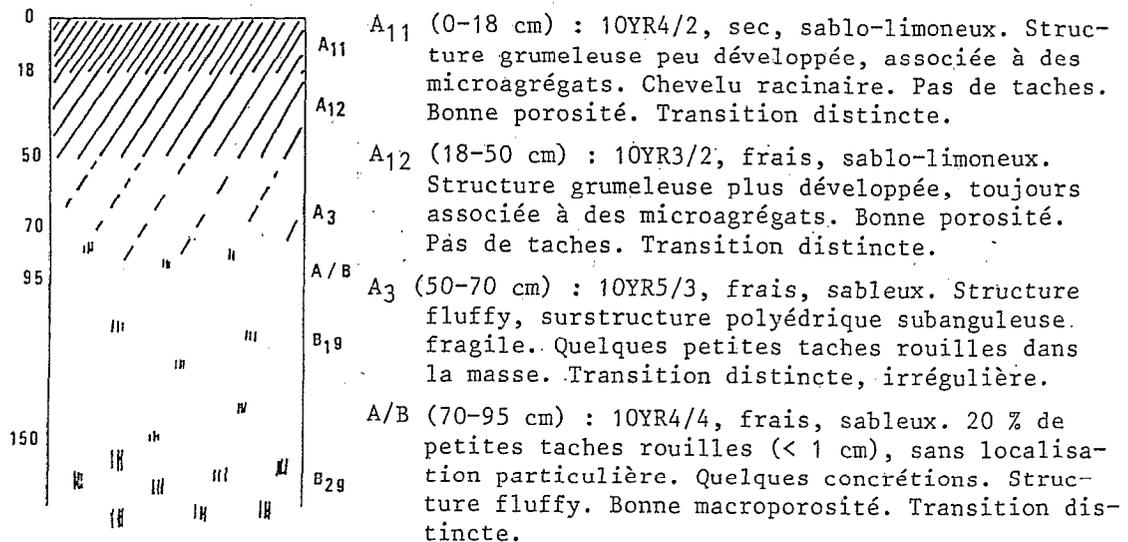


Figure 26.- Sol ferrallitique fortement désaturé, humifère, appauvri, hydromorphe (Profil GASC 74).

c) Sols ferrallitiques, fortement désaturés, hydromorphes sur sables batéké (Unité 19)

Ils sont marqués par une hydromorphie plus importante que les précédents. Ils s'en distinguent également par l'absence de concrétions et la présence de taches très abondantes. Ils sont localisés à la zone la plus humide du lousséké, près de la source du Lambakwa n'dolo.

Profil type : GASC 54 (figure 27)



B_{1g} (95-150 cm) : 10YR6/6, légèrement humide, très nombreuses taches rouilles dans la masse, sans orientation privilégiée, mais progressant à partir de taches subverticales localisées aux canalicules ; leur diamètre est de quelques mm. Transition graduelle.

B_{2g} (150-? : 10YR6/4 (pâli), humide, sablo-argileux. 50 % de taches rouilles (7,5YR6/8) plus grandes et mieux délimitées que dans l'horizon précédent. Structure fluffy peu nette.

D.- Les sols des versants et sommets de collines

1.- Sur matériau Inkisi

Sols ferrallitiques fortement désaturés, modaux, faciès anthropique sur matériau argilo-sableux (unité 13).

Ils occupent une colline fortement anthropisée (village) à l'Est du lousséké. Ils se distinguent notamment des sols développés sur sables Batéké par leur couleur, leur texture argilo-sableuse, leur structure plus polyédrique. Le contact avec les sols podzolisés n'a pu être analysé car se situant dans le village.

2.- Sur sables Batéké

Ces sols se trouvent à l'Ouest et au Nord-Ouest du lousséké. Il s'agit de sols fortement désaturés, psammitiques, présentant diverses variations, essentiellement texturales, en fonction de leur situation topographique :

a) en sommet de collines (unité 14), le taux d'argile est relativement faible (3 à 5 %) sur toute l'épaisseur observée, soit 5 m.

b) en haut de pentes (unité 15), il y a un gradient d'argile assez net : les horizons supérieurs sont très sableux, mais à partir de 80 cm environ, on note un léger enrichissement.

c) en bas de versants (unité 16), les taux d'argile sont relativement importants. Ils résultent d'un lessivage oblique le long des pentes et peuvent s'élever à 20 %. Il y a un léger gradient avec la profondeur. Les termes inférieurs de l'unité ont toujours une hydromorphie de profondeur, liée à la présence de la nappe générale, mais à une profondeur trop importante pour apparaître dans la définition des sols.

d) au fond des cirques (unité 17), les horizons de surface sont très épaissis (plus de 160 cm pour des horizons A₁), suite à des apports colluviaux.

Les caractéristiques générales de ces sols découlent de leur texture sableuse : forte porosité, faible cohésion, structure microagrégée.

II.- REPARTITION SPATIALE DES SOLS : TRANSECTS

A.- Introduction

1.- Généralités

Le lousséké de Gangalingolo montre un certain nombre de termes de passage entre le lousséké et les versants. Ces chaînes de sols paraissent généralisables et complètent donc la toposéquence décrite par De BOISSEZON et GRAS (1970) (Figure 6). Les transects que nous allons analyser sont représentés ci-dessous (d'après la figure 15).

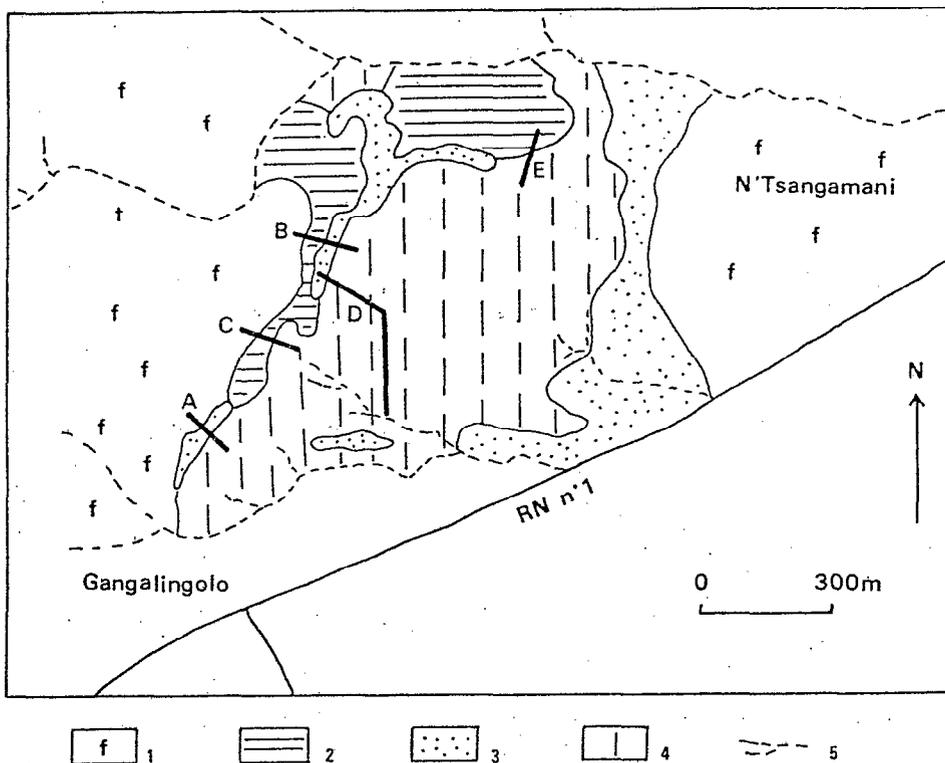


Figure 15'.- Localisation des transects.

(1) sols ferrallitiques des versants - (2) sols hydromorphes des bordures - (3) podzols du lousséké sec - (4) podzols du lousséké hydromorphe - (5) réseau hydrographique.
A, B, C, D, E : transects.

2.- Echelles de variabilité

a) Surfaces

Les surfaces occupées par les différents sols sont très diverses. Certains sont représentés (en toposéquence) sur plusieurs centaines de mètres, sans variations notables : c'est notamment le cas du paléopodzol humique à nappe perchée secondaire et hydromull. Par contre, dès que l'on approche d'une rupture de pente, les sols varient beaucoup plus rapidement, parfois même à l'échelle métrique. On a alors des unités de transition, d'extension généralement réduite.

b) Transition d'un sol à l'autre

Il convient de distinguer deux niveaux différents de variabilité, suivant que l'on s'adresse aux horizons de surface et aux horizons inférieurs : ces deux types d'horizons peuvent en effet varier de façon relativement indépendante. En particulier, il est très possible d'avoir des humus différents sur des horizons inférieurs en parfaite continuité (Fig. 28).

Les humus réagissent très rapidement aux variations d'hydromorphie dans les loussékés : on passe d'un type de matière organique à un autre en moins d'un mètre. La réaction rapide des horizons de surface aux variations de milieux est un fait reconnu (DUCHAUFOR, 1977).

Pour les horizons inférieurs des sols, la transition se fait en l'espace de quelques mètres ; elle demeure donc également rapide.

B.- Les variations internes au lousséké (Figure 28 et tableau VIII)

Dans le lousséké, l'enchaînement des sols est simple (transect D de la figure 15'). On peut distinguer trois unités principales :

* Dans la plus grande partie du lousséké hydromorphe, les sols sont des paléopodzols humiques à nappe perchée secondaire et à hydromull. C'est là, d'une façon générale, l'unité typique des loussékés hydromorphes.

* Dans les bas-fonds, l'accentuation de l'hydromorphie aboutit à un engorgement quasi permanent, et à la substitution de l'hydromull par un humus semi-tourbeux.

* Au contraire, en bordure du lousséké (lousséké sec), l'abaissement du toit de la nappe fait que celle-ci ne joue plus de rôle dans l'évolution de l'humus, qui est un "mull acide".

A ces trois types fondamentaux, qui forment une association en toposéquence, il convient d'ajouter les sols de mares temporaires (paléopodzols humiques à nappe secondaire perchée et à anmoor oligotrophe), qui forment une juxtaposition avec les podzols à hydromull.

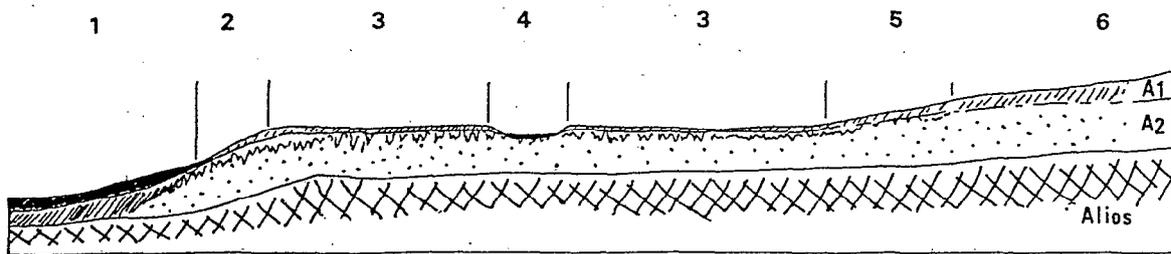


Figure 28.- Les principaux types de podzols à Gangalingolo (coupe schématique).

1. Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire, sans A₂, à humus semi-tourbeux (unité 4 de la carte)
2. Unité de transition entre 1 et 3 (unité 5)
3. Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire, à hydromull (a): série plus humide (unité 6), (b): série plus sèche (unité 7)
4. Paléopodzol humique à nappe perchée secondaire, à anmoor oligotrophe (unité 5)
5. Unité de transition entre 3 et 6 (unité 11)
6. Paléopodzol humique, drainé, à mull acide (unité 10).

Tableau VIII.- Humus et engorgement dans les loussekés.

	LOUSSEKE HYDROMORPHE				LOUSSEKE SEC	
	1 Tourbière	2 Transition 1-3	3 Plaine	4 Mares	5 Transition 3-6	6 Bordure
Engorgement	Quasi permanent	Alternances	Alternances	Semi-permanent	Base A ₁ seule engorgée	Non engorgé
Humus	Semi-tourbeux	Transition	Hydromull	Anmoor oligotrophe	Mull acide	Mull acide
Profil type	GASC 7	GASC 4	GASC 1 (a) GASC 400 (b)	GASC 600	GASC 311	GASC 70
Principales plantes	<i>Hypogynium spathiflorum</i> <i>Panicum nervatum</i>	<i>Monocymbium cerasiiforme</i>	<i>Loudetia simplex</i> <i>Eulbostylis laniceps</i> <i>Monocymbium cerasiiforme</i> <i>Mesanthemum radicans</i> (a) <i>Ctenium newtonii</i> (b)	Diverses associations	<i>Loudetia simplex</i> <i>Ctenium newtonii</i>	<i>Loudetia simplex</i> <i>Ctenium newtonii</i> <i>Digitaria brazzae</i>

Enfin, deux unités de transition, d'extension réduite, permettent de passer des podzols à humus semi-tourbeux aux podzols à hydromull d'une part, et des podzols à hydromull aux podzols à mull acide d'autre part.

Cette séquence correspond aux unités 3-4-5 de la chaîne de sols décrite par De BOISSEZON et GRAS (Figure 6).

C.- Le passage du lousséké hydromorphe aux versants (Figure 29)

Le passage des sols du lousséké hydromorphe aux sols ferrallitiques des versants peut s'effectuer de deux manières différentes : par l'intermédiaire des sols du lousséké sec, ou par des sols hydromorphes.

1.- Par l'intermédiaire des sols du lousséké sec

Deux cas de figure se présentent et peuvent coexister :

* Lorsque la rupture de pente entre le lousséké et les versants est nette (figure 29a et transect A de la figure 15'), on passe très rapidement des paléopodzols aux sols ferrallitiques. L'influence de la nappe phréatique se traduit dans ces sols ferrallitiques par une hydromorphie de profondeur, mais à une distance trop importante de la surface pour être prise en compte au niveau de la définition.

* Lorsque la rupture de pente entre le lousséké hydromorphe et les versants est moins nette (figure 29b, correspondant au transect B de la figure 15'), un terme supplémentaire vient s'inscrire dans la chaîne de sols : les sols ferrallitiques hydromorphes. Dans ces sols, (cf. Figure 26), la nappe joue un rôle sur toute l'épaisseur des horizons B, nettement pâlis.

2.- Par l'intermédiaire des sols hydromorphes

C'est le terme de passage des zones les plus humides, et des ruptures de pente les moins nettes. Le lousséké sec est ici absent (figure 29c, correspondant au transect C de la figure 15'). On passe ainsi des sols du lousséké hydromorphe à des sols hydromorphes à gley (figure 23), puis à des sols ferrallitiques hydromorphes (figure 27) et enfin, aux sols ferrallitiques des versants.

Ce terme de passage se retrouve relativement fréquemment sur les plateaux (par exemple, le bois de Bilanko : figure 8).

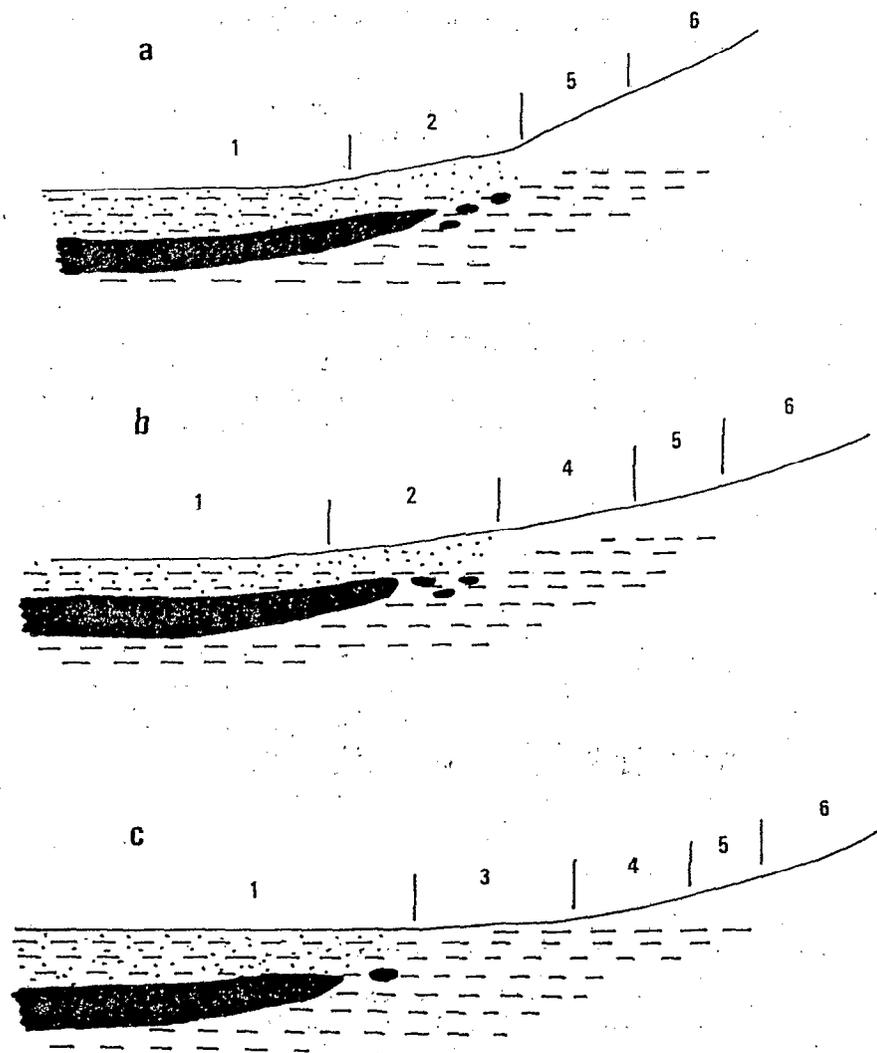


Figure 29.- Séquences Tousséké hydromorphe-versants.

1. Paléopodzol humique à nappe perchée secondaire ;
2. Paléopodzol humique ou non ;
3. Sol hydromorphe à gley ;
4. Sol ferrallitique hydromorphe ;
5. Sol ferrallitique à hydromorphie de profondeur ;
6. Sol ferrallitique.

D.- Cas particulier des bordures basses développées (Figure 30)

La bordure Nord du lousséké de Gangalingolo montre une séquence de sols particulière (Figure 30, correspondant au transect E de la figure 15'). A cet endroit, on quitte le lousséké par une rupture de pente à peine perceptible, pour arriver à une zone légèrement surélevée par rapport au lousséké, et non hydromorphe dans la partie supérieure du sol (soit environ 1 mètre) : il s'agit d'une bordure basse très étendue.

La séquence de sols se présente comme suit : après les podzols typiques du lousséké hydromorphe, on passe à une unité de transition composée de sols ferrallitiques hydromorphes, podzolisés, à horizon A₂ en poches, vraisemblablement formé par soutirage (voir figures 24 et 25), puis à des sols ferrallitiques hydromorphes analogues à ceux des séquences précédente (Figure 29b).



Figure 30.- Séquence lousséké hydromorphe-bordures basses.

1. Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire
2. Sol ferrallitique hydromorphe, série podzolisée
3. Sol ferrallitique hydromorphe.

Nous n'avons pas rencontré ce cas par ailleurs. Mais LE COCQ (communication personnelle) a été mis en présence de cas analogues dans les plaines de la Cuvette, lors de la cartographie de la région de Gamboma. Il est vrai que dans la région de Brazzaville, les limites entre les versants et les loussékés sont en général nettes, d'où l'absence de ce cas de figure, tandis que dans la Cuvette congolaise, les reliefs sont moins marqués.

E.- Cas des loussékés secs (Figure 31)

Un dernier type de séquence reste à étudier : c'est celui des loussékés secs, entièrement exondés, que nous n'avons, bien entendu, pas pu observer à Gangalingolo. Cette séquence (figure 31) est toujours simple : on passe des podzols du lousséké sec aux sols ferrallitiques des versants par l'intermédiaire d'une unité de transition, d'extension latérale restreinte, formée de sols ferrallitiques plus ou moins pâlis. Il s'agit là, sans aucun doute, d'anciens sols hydromorphes de bordure, placés ultérieurement, en même temps que le lousséké sec, dans de meilleures conditions de drainage.

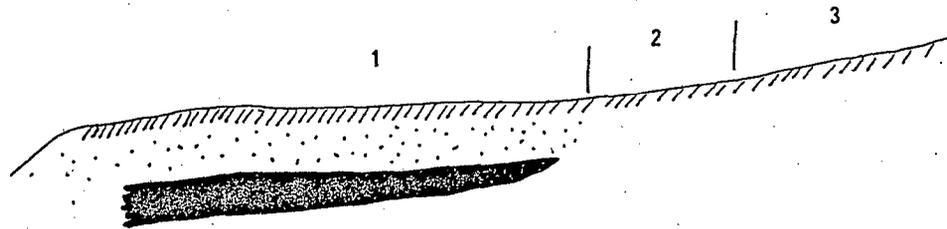


Figure 31.- Séquence lousséké: sec-versants.

1. Paléopodzol humique ou non
2. Sol ferrallitique plus ou moins pâli
3. Sol ferrallitique des versants

III.- MORPHOLOGIE DES SOLS ET HYDROMORPHIE

Les gradients d'hydromorphie ont donc un rôle très important sur la morphologie et l'évolution des sols. Il convient de distinguer l'influence de la nappe générale sur les sols de bordure du lousséké, et celle de la nappe perchée sur les horizons supérieurs des podzols.

A.- Influence de la nappe perchée sur les podzols

1.- Morphologie de l'horizon A₁/A₂

Il s'agit d'un horizon de pénétration de glosses humifères dans l'horizon A₂. Bien que nous n'ayons pu faire de fractionnement humique dans ces horizons en raison du faible taux de matière organique (de 0,2 à 0,5 %), nous pensons que cette matière organique est essentiellement une matière organique de percolation provenant des horizons supérieurs, où elle

est mobilisée lors des remontées de la nappe d'eau (Figures 16 et 17). L'importance des glosses est en effet directement liée à l'amplitude de l'oscillation de la nappe pendant la saison des pluies, et le fractionnement de la matière organique montre que dans l'horizon A₁ il n'y a que très peu d'acides fulviques libres (Figure 34, Chapitre VI), ce qui dénote d'une forte mobilisation et d'un entraînement de cette fraction, résultat qui apparaît comme classique (TURENNE, 1975).

Cet horizon glossique est une constante des podzols à nappe secondaire des formations batéké, dès lors que le battement de la nappe permet son individualisation.

En l'absence de nappe, le passage entre A₁ et A₂ se fait graduellement (lousséké sec).

2.- Morphologie des humus.

L'intensité de l'engorgement se répercute directement sur le type d'humus, ainsi que sur les teneurs en matière organique et le rapport C/N, qui augmentent avec l'hydromorphie (Tableaux VIII et IX, figure 28).

* Dans les zones les plus engorgées, l'humus a les caractères d'une tourbe bien décomposée (Saprist), peu épaisse. Cependant, en raison de la présence d'une forte fraction minérale (70-85 % du sol), il n'est pas possible d'en faire une réelle tourbe, mais tout au plus un horizon semi-organique à caractère tourbeux.

* Dans les mares temporaires, les horizons de surface subissent un régime de submersion quasi permanent pendant 6 mois, puis un régime aérobie continu pendant les 6 mois suivants. L'humus se rapproche donc des anmoor définis par DELECOUR (1980). En raison de l'extrême pauvreté du milieu, nous en avons fait des anmoor oligotrophes.

* Dans les podzols hydromorphes, l'engorgement n'est pas permanent à la saison des pluies : il y a des alternances de phases aérobies et anaérobies, durant chacune quelques jours. Malgré le C/N relativement élevé de ces humus, la décomposition des matières organiques semble relativement bonne : il n'y a pas de résidus reconnaissables dans les A₁. Nous avons donc assimilé cet humus à un hydromull.

* Dans les podzols des loussékés secs, l'absence totale d'engorgement aboutit à des taux de matière organique et des C/N plus bas que dans les podzols hydromorphes. Il n'y a pas non plus de résidus plus ou moins identifiables (si l'on excepte les résidus carbonisés, provenant directement des brûlis). Nous avons donc également assimilé cet humus à un mull.

Le caractère essentiel de ces différents humus est, malgré les degrés divers d'engorgement et la pauvreté générale du milieu, l'absence de débris végétaux identifiables, ce qui traduit une meilleure minéralisation de la matière organique fraîche que les rapports C/N élevés le laissent entrevoir. Ce fait est sans doute à relier au type de végétation, herbacé, des loussékés, qui privilégie les apports racinaires, ainsi qu'aux brûlis, dont l'influence exacte reste cependant à déterminer.

3.- Evolution saisonnière de la matière organique

Des mesures du C/N et du taux de matière organique ont été effectuées sur certains humus du lousséké de Gangalingolo en fin de saison des pluies et de saison sèche. Les brûlis, d'importance variable suivant les stations, ont perturbé les mesures et interdisent toute interprétation trop fine. Toutefois, on notera (Tableau IX) :

Tableau IX.- Evolution de la matière organique

IX.1 : Evolution saisonnière (année 1983)

Echantillon.	Prof. (cm)	Humus	Fin saison des pluies		Fin saison sèche	
			M.O. %	C/N	M.O. %	C/N
GASC 400-1	0- 6	Hydromull, série plus sèche	6,9	27	2,9	20
GASC 400-2	10-25		1,4	14,7	-	-
GASC 1-1	0-10	Hydromull, série plus humide	8,9	28	3,2	17,7
GASC 1-2	10-30		2	17,3	1,8	14,9
GASC 9-1	0-10	id.	7,6	28,5	7,4	24,7
GASC 9-2	10-30		1,8	13,9	0,7	10,6
GASC 550-1	0-10	Anmoor oligotrophe	24,3	29,1	32*	28*
GASC 7-1	0-10	Semi-tourbeux	30,2	32,7	21	25

* Brûlis récent important

IX.2 : Différence entre podzols de loussékés secs et podzols hydromorphes (année 1982, mi-saison sèche)

	C/N	M.O. %
Podzols à hydromull	24-33	3-5
Podzols à mull acide	15-19	1,2-1,5

* l'existence, tant en saison sèche que pluvieuse, d'un gradient du taux de matière organique et du C/N en fonction de l'hydromorphie.

* un abaissement général du C/N et des taux de matière organique entre la fin de la saison sèche et de la saison des pluies.

* une diminution des quantités de matière organique et du C/N plus importants dans les sols à contrastes saisonniers importants (hydromull) que dans les zones tourbeuses. Les résultats obtenus sur les anmoor sont en l'espèce non interprétables.

Ces mesures devraient être complétées dans un stade ultérieur, par des suivis plus réguliers et nombreux. Il n'est en effet pas certain que l'activité biologique soit constante tout au long de la saison sèche, du fait que les horizons supérieurs deviennent assez rapidement complètement secs.

4.- Turn-over de la matière organique

Un comptage au ^{14}C effectué sur l'horizon humifère d'un podzol de nappe (GASC 1) donne un $\delta^{14}\text{C}$ de + 146,3 ‰ (voir Tableau XIX).

Si on admet que la courbe de distribution des âges est une courbe exponentielle, ce $\delta^{14}\text{C}$ positif transposé en âge conventionnel correspond à un âge de 55 ans. Or, BALESSENT (1982) a montré qu'en raison de l'existence dans la matière organique de deux pools distincts, l'un stable, composé de matière organique à temps de résidence très long, l'autre labile, composé de matière organique jeune à minéralisation rapide, cette loi ne pouvait être appliquée. Il convient de remplacer cette courbe exponentielle par une fonction puissance, et l'âge moyen de la matière organique des horizons A_1 est en réalité moins élevé que celui auquel on aboutit par l'application du modèle exponentiel.

L'âge moyen des matières organiques de l'horizon A_1 est donc inférieur à 55 ans, ce qui correspond à un temps de turn-over très rapide.

B.- Influence de la nappe générale sur les sols de bordure

En dehors des phénomènes classiques de gleyification, l'influence de l'hydromorphie se traduit sur les profils, de deux manières différentes :

1.- Phénomènes de concrétionnement

Ces phénomènes affectent les sols de bordure non podzolisés ou peu marqués par la podzolisation (unité 12, figure 24, et unité 18, figure 26). L'absence quasi totale de fer dans les podzols empêche en effet la formation de concrétions.

Celles-ci forment une ligne sinueuse à la limite entre les horizons A₁ et/ou A₃ relativement épais, et les horizons B ferrallitiques et/ou hydromorphes. Elles sont plus ou moins indurées, de couleur rouille et jaune d'or, nettement enrichies en fer. A leur contact, on peut également parfois noter un enrichissement en matière organique, ce qui dénote d'une certaine mobilité de la matière organique dans ces sols non podzolisés, mais très sableux.

L'examen de différents profils et la lecture des piézomètres a montré que cette zone de concrétionnement se formait au niveau le plus haut atteint annuellement (pendant 2-3 mois environ) par le toit de la nappe, certainement par la réoxydation du fer mobilisé dans les horizons plus profonds.

Faut-il y voir un modèle ou une comparaison avec la formation de l'aliôs ? Nous ne le pensons pas. En effet, l'aliôs est extrêmement pauvre en fer (voir chapitre suivant). Cet élément a été éliminé dans une phase pédogénétique qui a précédé la formation de l'aliôs. D'autre part, on trouve dans les sols de l'unité 12, au contact des A₂ formés par soutirage, des B_h sans accumulation ferrique.

Il s'agit donc d'un phénomène particulier, lié à l'hydromorphie qui règne dans les sols ferrallitiques de bordure, et sans liens réels avec la podzolisation.

2.- Phénomènes de soutirage latéral

Ces phénomènes relèvent de la transition sols ferrallitiques hydromorphes-sols podzolisés de la bordure Nord du lousséké (unité 12, figures 24 et 25), à une profondeur où la nappe est quasiment permanente, ce qui rend leur observation malaisée. Il ne semble pas y en avoir ailleurs.

Le soutirage semble avoir une dynamique actuelle, ce qui prouverait que dans certaines conditions d'hydromorphie importante, avec un fort drainage latéral, il y a encore une dynamique podzolisante actuelle, en bordure de lousséké, même si son intensité est sans commune mesure avec les phénomènes passés (cf. IIIème Partie).

D'autre part, ces phénomènes montrent que la formation de B_h peut suivre de très près, voire être concomitante de l'élimination du fer, ce qui sera confirmé par des analyses au radiocarbone (Chapitres 9 et 10).

Il n'y a pas de phénomènes de soutirage en bordure des collines sableuses, vers l'Ouest du lousséké, ce qui est certainement lié à des conditions pédoclimatiques différentes : milieu plus argileux au départ, nappe moins acide et moins chargée en matière organique.

IV.- CONCLUSIONS

A.- Dynamique de la podzolisation

Ainsi que nous l'annoncions déjà dans la première partie, divers indices plaident en faveur de l'ancienneté de la podzolisation.

L'étude du lousséké de Gangalingolo vient conforter cette hypothèse sur plusieurs points :

* La non-adéquation entre les limites des nappes d'eau et de l'aliôs confirment le fait que l'hydromorphie actuelle n'est pas responsable de la formation et de l'induration des B_h. Certaines zones non podzolisées sont hydromorphes, alors que certains podzols ne le sont plus. D'autre part, la Loa entaille par endroit l'aliôs sur près d'un mètre d'épaisseur, ce qui tend également à prouver que l'aliôtisation est un phénomène ancien. De même, la nappe perchée apparaît comme une conséquence de la présence de cet horizon induré, et non comme une cause.

* La présence très fréquente d'une flore fossile, constituée par des racines d'essences arborées, répartie sur tout l'ensemble du lousséké, et apparemment homogène, va également dans le sens d'une ancienneté des phénomènes sur la totalité du lousséké, et non de phénomènes continus, progressifs. Les phénomènes de bordure actuels apparaissent comme des phénomènes "marginiaux" dans tous les sens du terme, et sans commune mesure avec l'amplitude des phénomènes passés. Les limites du lousséké n'ont pour ainsi dire pas évolué depuis la fin de l'aliôtisation.

Il est dès lors possible d'affirmer, sans attendre les résultats de la troisième partie, qu'il y a dans les loussékés différentes dynamiques qui se sont succédées dans l'espace et le temps ; ainsi à Gangalingolo, il est possible de distinguer :

* une dynamique ancienne, fossile, qui s'est traduite par une podzolisation importante et la formation de l'essentiel du lousséké ;

* une dynamique podzolisante actuelle, ou subactuelle, qui affecte certains sols ferrallitiques hydromorphes formant une frange en bordure de lousséké, et se traduit par la formation d'horizons A₂, par soutirage, ainsi que par une accumulation de matière organique sous forme de nodules et de liserés ourlant des zones non podzolisées ;

* une dynamique actuelle, qui affecte les humus et horizons supérieurs des sols du lousséké. Peut-on encore parler de dynamique podzolisante dans ces milieux où il n'y a finalement plus rien à podzoliser ? Il s'agit plutôt de phénomènes relictuels à mettre en liaison avec un engorgement plus ou moins prononcé :

- ainsi, dans le lousséké hydromorphe, la dynamique actuelle n'aboutit qu'à la différenciation de divers types d'humus et à l'exportation hors du sol des fractions organiques les plus solubles, que l'on retrouve ensuite dans les cours d'eau, dont la couleur "thé" est caractéristique ;

- dans le lousséké sec, l'aspect résiduel est poussé à l'extrême. A la limite, il est possible de considérer que l'horizon A₂ de ces sols hyper-évolués, figés à un stade ultime de l'altération, est un matériau sableux sur lequel se développe un sol peu évolué, faiblement organique. C'est le parti qu'a adopté De BOISSEZON (in : De BOISSEZON et JEANNERET, 1965, et : De BOISSEZON et GRAS, 1970). C'est également l'interprétation qu'en donne la 7th Approximation (USDA, 1960) pour les podzols dont l'horizon A₂ a une épaisseur supérieure à 2 mètres. Quoi qu'il en soit, il s'agit pratiquement de paléosols figés à un stade de développement ultime, et appelés à disparaître à plus ou moins long terme.

* une dynamique hydromorphe actuelle, affectant l'essentiel des sols de bordure, et se traduisant par des phénomènes de gleyification.

B.- Les profils les plus fréquents

Les profils types rencontrés à Gangalingolo peuvent être considérés comme représentatifs des sols de lousséké. Il convient toutefois d'y ajouter un type de sol absent ici, mais fréquent ailleurs : c'est celui du paléopodzol hydromorphe, humique ou non, mais parfaitement drainé et à A₂ épais contenant de fines bandes de matière organique plus ou moins anastomosées, épaisses de quelques millimètres, et séparées les unes des autres par une dizaine de centimètres. Nous n'avons jamais rencontré de tels B_h en bandes dans les sols de loussékés hydromorphes, alors qu'ils sont très fréquents dans les podzols de loussékés secs, qu'ils semblent donc bien caractériser exclusivement (observations sur environ 50 cas).

Il est dès lors possible de distinguer deux types de profils qui apparaissent comme les plus fréquents dans les loussékés (figure 32) :

* Le profil typique du lousséké hydromorphe est un paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire, caractérisé par :

- un hydromull
- un horizon de transition A₁/A₂ formé par des glosses de matière organique
- un A₂ épais de 0,8 à 2 mètres
- un B_{21h} gris, relativement limoneux, compacté, peu épais (4-5 cm)
- un alios humique, d'une épaisseur supérieure au mètre.

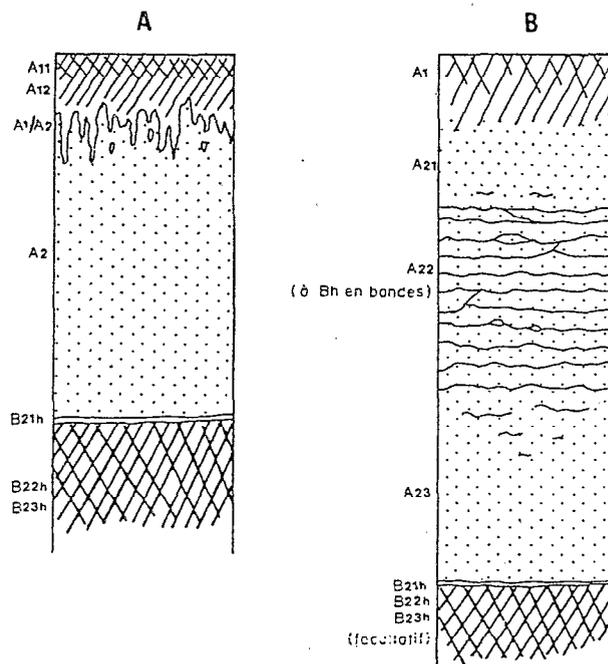


Figure 32.- Les podzols les plus fréquents des formations batéké

A. Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire, à hydromull (lousséké hydromorphe).

B. Paléopodzol (humique), à mull acide (lousséké sec).

* Celui caractérisant le lousséké sec est le paléopodzol suivant :

- un mull oligotrophe passant graduellement à :
- un A₂ épais de 2 à plus de 4 mètres,
- la présence de B_h en fines bandes dans le A₂. Ces bandes s'interrompent vers la base de l'horizon éluvial, en particulier quand il est soumis à un engorgement temporaire,
- la présence de l'horizon B_{21h} et de l'aliol est facultative, mais quand ces horizons sont présents, ils sont très comparables à ceux du podzol humique à nappe perchée secondaire.

Il convient de remarquer que le profil de paléopodzol à mull acide caractérise le lousséké de façon plus uniforme que le paléopodzol à nappe secondaire, à hydromull, ne le fait pour le lousséké hydromorphe. C'est bien évidemment l'absence de gradient d'hydromorphie qui est responsable de cet état de fait.

C.- Proposition de nomenclature1.- Pour les formations batéké

Nous proposons, au tableau X, une nomenclature pour les podzols des formations sableuses batéké. Cette nomenclature est fondée sur des critères pratiques, directement observables sur le terrain. Ce tableau devra certainement être complété lors de prospections plus systématiques, mais les critères de classement nous paraissent suffisamment ouverts pour que l'incorporation de nouvelles unités soit aisée.

Tableau X.- Proposition de nomenclature pour les sols de loussekés

Unité de paysage	Hydromorphie	Unités de sol majeures	SOL ACTUEL			
			Horizons caractéristiques	Humus	Autre particularité	Faciès anthropique
LOUSSEKE SEC	Nappe inexistante ou restreinte à la base des A ₂	Paléopodzol humique Paléopodzol (non humique)	à, ou sans B _h en bandes	Mull acide	- Alios superposés - à taches d'oxydation - horizons enfouis etc... - sans A ₁ /A ₂ - sans B _{21h} - à nodules de M.O. - etc.	Présence ou non d'un faciès anthropique
	Nappe occupant très temporairement presque tout le A ₂ , jamais le A ₁	Unité de transition des loussekés mixtes	sans B _h en bandes et à A ₂	Mull acide		
LOUSSEKE HYDROMORPHE	Nappe engorgeant périodiquement tout le A ₁	Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire Paléopodzol à nappe secondaire	sans A ₂ à A ₂	Tourbe * Hydromull -série + sèche -série + humide * Anmoor oligotrophe * Tourbe		

Ces podzols étant tous des paléopodzols hydromorphes (cf. III^{ème} Partie), le premier critère que nous avons retenu est la présence, ou l'absence de l'aliòs : paléopodzol humique, quand il y a un horizon spodique continu; paléopodzol (non humique), dans le cas contraire.

Le second critère est le degré d'hydromorphie actuel. Deux cas sont à distinguer suivant l'importance de la nappe secondaire, perchée (en présence d'aliòs), ou phréatique (absence d'aliòs) :

* Lorsque la nappe joue un rôle sur l'évolution des humus, donc lorsqu'elle affleure temporairement (lousseké hydromorphe), on distinguera :

- des paléopodzols humiques à nappe perchée secondaire (en présence d'aliôs),

- des paléopodzols à nappe secondaire (en absence d'aliôs).

* Lorsque la nappe ne joue aucun rôle sur l'évolution des humus (lousséké sec) :

- des paléopodzols humiques (ou non), quand la nappe (perchée ou phréatique) est inexistante, ou tout au moins n'influence que la base de l'horizon A₂

- une unité de transition avec le lousséké hydromorphe (cas de loussékés mixtes), lorsque la nappe occupe périodiquement la majeure partie de l'horizon A₂, sans que les horizons A₁ ne soient jamais engorgés (voir Figure 28 et tableau VIII).

Le niveau suivant prend en compte la présence ou l'absence de certains horizons (à B_h en bandes, sans A₂, et le type d'humus).

Les perturbations d'origine humaines : troncatures, remaniements visibles, y compris la présence de niveaux archéologiques historique ou protohistorique, mais à l'exclusion d'industries préhistoriques), sont pris en compte par l'introduction d'un faciès anthropique.

C'est bien évidemment de l'échelle du travail que dépendra le degré de précision des termes employés.

2.- Pour une classification plus générale

Un certain nombre de critères que nous avons retenus peuvent également être utilisés pour une classification plus générale ; nous pensons en particulier à une réactualisation de la CPCS 1967.

Les podzols tropicaux ne constituent, dans la classification française des sols (CPCS, 1967), qu'un groupe (sans mention de sous-groupe) de la sous-classe des podzols hydromorphes. Pour sa part, DUCHAUFOR (1977) propose la création de deux sous-groupes, suivant que l'horizon spodique contient ou non de la gibbsite secondaire.

Il apparaît cependant clairement que les podzols tropicaux constituent un ensemble de sols extrêmement répandus et hétérogènes, et que ce n'est pas au niveau des sous-groupes, tels qu'ils sont définis (voir SEGALÉN, 1978), qu'il convient de faire apparaître cette diversité.

A ce stade de la réflexion, nous ne pouvons et ne voulons qu'émettre des propositions de travail, dont nous espérons qu'elles susciteront remarques et critiques. En raison de la diversité des podzols tropicaux, il convient, à notre sens, de faire apparaître ces sols à un niveau plus élevé de la classification, au sein d'une sous-classe climatique nouvellement créée.

Dans cette sous-classe, l'aspect actuel, ou au contraire fossile, de la pédogénèse paraît être un critère majeur : dans un cas, on a des sols relativement jeunes, en équilibre avec les conditions de milieu, dans le deuxième cas, une couverture pédologique ancienne, sans rapport avec son environnement actuel (cf. IIIème Partie). De nombreux podzols tropicaux semblent être des sols reliques ; ainsi, en dehors des podzols formés sur sables batéké au Congo, au Zaïre, au Gabon, nous citerons (selon toute vraisemblance, car cette dimension n'apparaît pas toujours dans les articles cités), les podzols de Zambie (BRAMMER, 1973), certains podzols du Brésil (FLEXOR et al., 1975), du Cambodge (PLATTEBORZE, 1969) voire de Colombie (FAIVRE et al., 1975), et il y a fort à parier que des études plus spécialement tournées vers la dynamique historique de ce type de sol feront apparaître la nature relique de nombreux autres podzols tropicaux. Il nous paraît ainsi essentiel de distinguer un groupe de paléopodzols hydromorphes.

Au sein de ce groupe, il convient de distinguer des sous-groupes, en fonction de la présence d'une nappe secondaire influant ou non sur l'évolution des humus : c'est là la dynamique actuelle, résiduelle, hydromorphe ou aérobie, des sols, qui est prise en compte. En y intégrant la présence ou l'absence d'horizon spodique, il serait ainsi possible de créer quatre sous-groupes : les paléopodzols hydromorphes humiques à nappe secondaire, les paléopodzols hydromorphes à nappe secondaire, les paléopodzols hydromorphes humiques drainés, les paléopodzols hydromorphes drainés.

Pour ce qui est de la classification, certains auteurs (DUCHAUFOR, 1977) estiment que la dynamique actuelle doit primer sur la dynamique ancienne : pour ces podzols, dans lesquels il n'y a plus d'altération podzologique possible, cela équivaut à considérer que l'horizon A₂ est une roche-mère dans laquelle se développent des sols minéraux bruts, plus ou moins hydromorphes, sur paléopodzols (c'est ce que considère la classification américaine, quand l'horizon A₂ a une épaisseur supérieure à deux mètres).

Dans le cas précis de ces sols, qui s'apparente dans un sens à la notion de "sol ancien" (RUELLAN, 1970 ; DUCHAUFOR, 1977), cette solution ne nous satisfait pas : d'une part, on remarquera que cela nécessiterait également une reprise de la classe des sols minéraux bruts (les A₂, roches-mères, ne sont en effet ni des sols minéraux bruts climatiques, ni des sols d'érosion ou d'apport), d'autre part, c'est toute la dimension morphologique et pédogénétique de ces podzols géants", qui serait ainsi gommée. C'est enfin ne pas faire apparaître un fait fondamental : que de nombreux podzols tropicaux, considérés comme ayant une genèse actuelle, sont en fait des sols reliques, dont l'histoire est complexe, mais qui sont arrivés au stade ultime de leur évolution.

CHAPITRE VI

CONSTITUANTS ET ORGANISATION DES HORIZONS DIAGNOSTIC

Les horizons spodiques des loussékés ne sont connus, jusqu'à présent, que par leur description morphologique et quelques analyses simples. Il nous a paru essentiel de les caractériser de façon plus approfondie. Cependant, en raison de leur épaisseur et de leur dureté, il est très difficile de percer ces alios. Les observations portent donc sur un nombre réduit de profils, que nous considérons, malgré tout, comme représentatifs.

I.- CARACTERISATION RAPIDE DES HORIZONS D'ACCUMULATION

A.- Description morphologique

Les horizons d'accumulation comportent, outre l'alios, un horizon supérieur mince très caractéristique. On a ainsi deux ensembles très différents :

- plaqué à la surface de l'alios, on trouve en effet, très fréquemment, un petit horizon gris non induré, mais compacté, épais de 3 à 7 cm (voir Figure 20). Cet horizon peut également être plaqué, à l'aplomb de l'horizon A₂, sur tout autre support (voir Chapitre VIII) : grès du Stanley-Pool, industrie lithique, voire horizon B_{2g} de sol ferrallitique hydromorphe. Cet horizon particulier ne semble pas avoir été observé dans d'autres formations

que les loussékés. Au Congo, sa présence généralisée et son aspect particulier ne semblent pas avoir éveillé la curiosité des chercheurs ; seuls De BOISSEZON et JEANNERET (1965) et De BOISSEZON et GRAS (1970) lui ont consacré quelques lignes.

- l'aliôs représente l'essentiel de l'accumulation humique. Il peut se subdiviser en deux horizons, dont les caractéristiques sont quelque peu différentes :

* l'horizon supérieur est sombre, brun foncé à noir. Il est constitué par un ciment organique qui enrobe les grains de quartz. Un certain nombre de ces grains sont nus et déliés. Bien que très dur lorsqu'on l'attaque à la pioche, il est relativement friable à l'état sec ;

* la partie inférieure de l'aliôs est plus claire, brun ocre à chocolat. Le ciment organique revêt les grains de façon plus uniforme. Moins dur que le précédent à la pioche, il est également plus cohérent à l'état sec.

Ces deux horizons aliotiques s'interpénètrent quelquefois. Il est en particulier assez fréquent d'avoir des plages plus claires et moins indurées dans la partie supérieure de l'aliôs.

Le contact entre l'horizon gris et l'aliôs est toujours brutal, tandis que la transition entre les deux niveaux aliotiques est plus progressive. Les limites des horizons sont le plus souvent régulières, sauf dans le cas des sols de bordures (voir figure 25).

Nous avons appelé B_{21h} le petit horizon gris compacté, B_{22h} la partie supérieure de l'aliôs, et B_{23h} la partie inférieure.

B.- Variations texturales et densité apparente.

1.- Granulométrie

Les horizons de surface, sableux, ont des taux d'argiles généralement inférieurs à 1 %.

L'horizon B_{21h} se caractérise par un taux de limons fins relativement élevé, nettement supérieur à ceux de l'horizon A₂ (< 1 %) et de l'aliôs (1 à 3 %). C'est en fait à cette abondance de limons fins, jointe à un taux d'argiles de 2 à 3 % qu'il doit sa texture sablo-argileuse.

Dans l'aliôs, il semble y avoir un gradient d'argiles vers la profondeur. En effet, alors que dans la partie supérieure, les taux d'argiles sont de 2 à 4 %, ils passent rapidement à 6-7 %, mais ce gradient ne paraît pas toujours régulier.

2.- Densité apparente

Les densités apparentes sèches sont élevées. En effet, on passe de 1,55 dans le A₂, à 1,92 dans le B_{21h}, pour retomber à 1,8 dans les aliôs. Bien que non induré, l'horizon B_{21h} a donc une porosité très faible, en rapport avec sa forte compaction.

II.- ÉTUDE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique des horizons A₁ et B spodiques constitue l'élément essentiel du complexe absorbant, caractérisé par une désaturation presque totale en bases.

A.- Matière organique totale

1.- Teneurs

Les taux de matière organique de l'horizon B_{21h} sont peu élevés, de l'ordre de 0,5 à 1 %. Ils n'en représentent pas moins une accumulation relative par rapport aux horizons A₂.

Dans les alios, les taux de matière organique sont très variables. Ceux que nous avons analysés ont des teneurs en matière organique qui varient de 1,3 à 18 %. Pour leur part, De BOISSEZON et GRAS (1970) donnent des valeurs variant de 2 à 30 %, LEPERSONNE (1937) 17 % après calcination, CAHEN et MORTELMANS (1973) 11 %, et DENIS (1974) 9 %. Des taux de matière organique de l'ordre de 10 % sont donc relativement courants.

Au sein d'un même profil, il y a un gradient net de matière organique avec la profondeur, mais les variations ne sont ni régulières, ni directement liées aux limites des horizons B_{22h} et B_{23h} (Tableau XI et Figure 34).

Tableau XI.- Taux de matière organique et C/N des alios.

GASC 1			GASC 10		
Horizon et profondeur (cm)	M.O. %	C/N	Horizon et profondeur (cm)	M.O. %	C/N
B _{21h} , 110	0,9	18,9	Alios (B _{22h}), 130	9,2	50,4
Alios (B _{22h}), 115	3,1	43	B _{22h} , 150	12,0	45
B _{22h} , 120	17,8	65,3	B _{22h} , 180	2,3	64,1
B _{22h} , 140	8,8	43,7	B _{22h} , 200	16,8	51,5
B _{22h} , 170	7,7	45,4	B _{23h} , 220	5,4	39,9
B _{22h} , 200	10,1	55,2	B _{23h} , 250	3,8	32,4
B _{23h} , 200	9,4	52	B _{23h} , 280	5,1	42
B _{23h} , 230	4,5	50,6	B _{23h} , 310	2,6	30,7
B _{23h} , 260	1,0	32,7			
B _{23h/C} , 270	0,9	24,1			

D'autre part, il semblerait que les alios des paléopodzols à nappe perchée secondaire soient plus riches en matière organique que ceux des paléopodzols actuellement bien drainés, en particulier ceux qui ont été mis en surface, à un moment donné de leur histoire ancienne (concession ORSTOM) ou récente (carrières) : il n'est pas impossible que, dans ce cas, une partie de la matière organique ait été minéralisée ou même érodée sélectivement.

2.- Stocks de matière organique dans les alios

A partir du Tableau XI, on peut estimer l'accumulation de matières organiques dans les deux alios (GASC 1 et GASC 10) pour lesquels nous avons des mesures régulières et suffisamment rapprochées pour calculer, sans grand risque d'erreur, la quantité réelle de matière organique du B_h, en supposant la densité apparente de l'alios constante sur toute son épaisseur (soit égale à 1,8).

On obtient, pour les deux profils, des chiffres assez comparables : 220 kg/m² sur GASC 1, 227 kg/m² sur GASC 10, soit des quantités de l'ordre de 2 200 tonnes par hectare, valeurs tout à fait considérables lorsqu'on les compare aux 100-200 tonnes par hectare des podzols tempérés.

3.- Rapports C/N

Des différences significatives du C/N apparaissent entre l'horizon B_{21h} et l'alios. Le C/N de l'horizon B_{21h} est relativement peu élevé, de l'ordre de 19. Il est inférieur à celui des horizons de surface des podzols hydromorphes.

Celui des alios est variable, mais toujours élevé : des valeurs se situant entre 40 et 60 sont la règle générale, et certains dépassent 80. Ce fait est maintenant classique dans les podzols de lousseké (De BOISSEZON et GRAS, 1970 ; DENIS, 1974).

Il ne semble pas y avoir de gradient au sein d'un même profil (Tableau XI).

Ces fortes valeurs du C/N caractérisent des milieux biologiquement peu actifs, dans lesquels, comme l'ont notamment montré RIGHI et GUILLET (1977) pour les podzols des Landes, la biodégradation des composés organiques est faible, et où la matière organique aura, par conséquent, tendance à s'accumuler. Il est également possible, comme le notent ces auteurs, que le vieillissement de la matière organique des alios se soit accompagné d'une diminution relative du taux d'azote, qui aurait été évacué sous forme de composés solubles par la nappe.

B.- Fractionnement de la matière organique

1.- Méthode

La méthode employée est la méthode Bondy (DABIN, 1971 ; BRION et al.), dont le principe est résumé figure 33. Les taux de matière

organique extractible à la soude étant très faibles dans les alios, on a regroupé les acides fulviques-NaOH et les acides humiques-NaOH en une seule fraction : les matières humiques totales extractibles à la soude (MHT-NaOH).

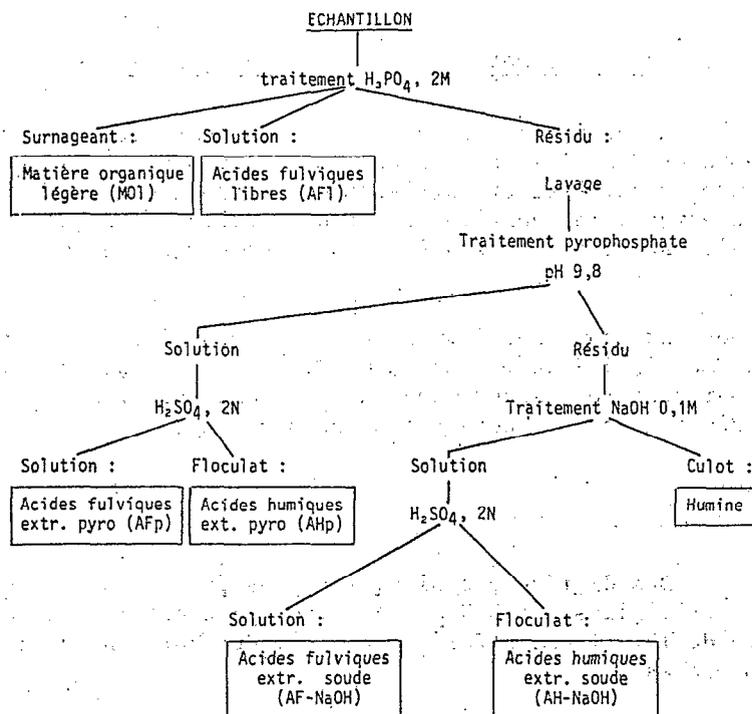


Figure 33.- Principe de la méthode Bondy (DABIN, 1971).

2.- Analyse du profil GASC 1

Les résultats sont donnés sous forme de graphiques (Figures 34 et 35). On remarquera :

- l'opposition entre l'humus et les horizons d'accumulation. En particulier, l'horizon A₁ est caractérisé par un taux quasi nul d'acides fulviques libres (ils sont éliminés par lessivage), un taux très important d'humine et de matières extractibles à la soude ;

- l'horizon B_{21h} se distingue nettement de l'alios, notamment par son taux de MHT-NaOH et d'humine ;

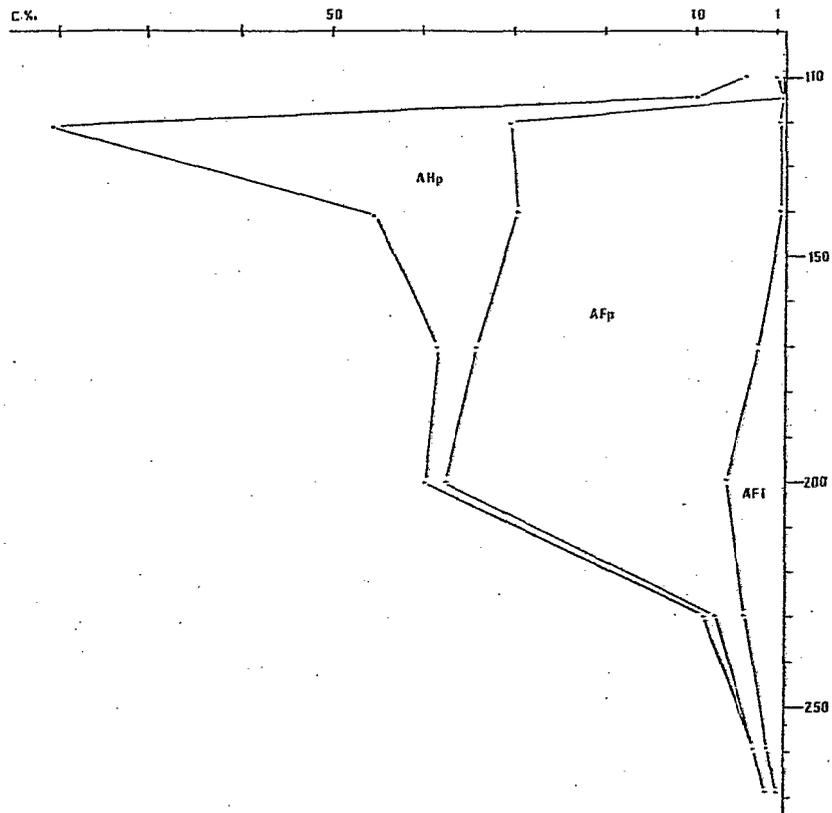


Figure 34.- Fractionnement humique de l'aliol (GASC 1).
Teneurs absolues.

*N.B. En raison de leurs faibles teneurs, l'humine (H)
et l'extrait soude (MHT-NaOH) ne sont pas repré-
sentés sur la figure.*

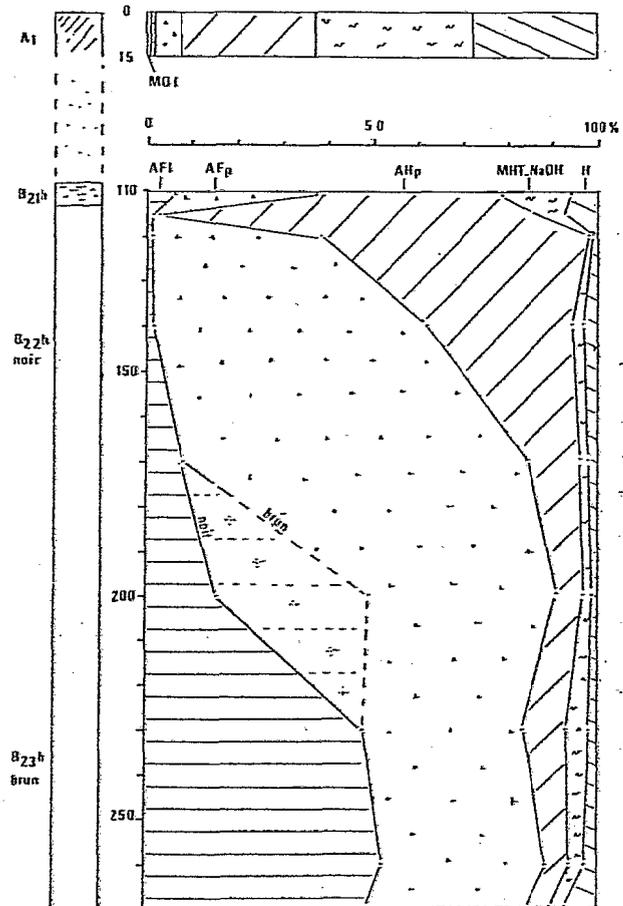


Figure 35.- Fractionnement humique de l'aliol.
Pourcentages relatifs.

- l'aliôs se caractérise par son taux très faible, et constant sur toute son épaisseur, de composés organiques non extractibles au pyrophosphate (6-8 % du carbone total). Il y a, d'autre part, un très net gradient du rapport AF/AH, qui croît avec la profondeur : en surface de l'aliôs, abondent les acides humiques extraits au pyrophosphate, dans la partie médiane les acides fulviques extraits au pyrophosphate, dans la partie inférieure les acides fulviques libres. Cet accroissement est une règle générale (TURENNE, 1975 ; RIGHI, 1977), mais la tendance fulvique est ici particulièrement affirmée, bien que le caractère fossile de la podzolisation soit tout à fait établi (IIIème Partie). Ceci suggère une très forte stabilité des complexes aluminofulviques, et une très faible capacité du milieu à la biodégradation et à la polycondensation. D'autre part, les acides humiques extractibles au pyrophosphate sont relativement stables dans les milieux intertropicaux, et leur tendance à la migration est faible. Dans l'aliôs, ils ont très bien pu se former sur place, par condensation de formes plus simples, lors d'alternances d'humectation et de dessiccation. Il y aurait ainsi, dans cette hypothèse, une sorte d'accumulation remontante par suite de l'apport continu d'acides fulviques, jointe à une polymérisation de ces acides fulviques dans la partie sommitale de l'aliôs, où les taux de matière organique sont plus élevés, et les alternances d'humectation et dessiccation plus sensibles.

3.- Comparaison avec d'autres podzols hydromorphes

Dans les podzols tropicaux, les points de comparaison sont peu nombreux. Les résultats obtenus par TURENNE (1975) sur les podzols guyanais sont relativement différents des nôtres (Figure 36).

On notera, en particulier, dans les podzols guyanais :

- la plus grande abondance d'humine,
- la grande abondance d'acides fulviques libres, sur toute l'épaisseur des horizons d'accumulations,
- le très faible taux d'acides humiques-pyrophosphate,
- par contre, et en harmonie avec les aliôs de lousséké, un très faible taux d'extrait soude.

DABIN (1981) décrit un podzol brésilien. Les résultats sont relativement proches de ceux exposés par TURENNE : grande abondance d'acides fulviques libres (48 %) et d'humine (34 %), faible représentation des matières humiques extractibles au pyrophosphate (12 %) et à la soude (2 %).

On remarque donc des différences très sensibles avec les aliôs des podzols de loussékés, si on excepte les très faibles teneurs en extrait soude, qui semblent être une constante des podzols tropicaux, et le caractère fulvique très dominant, sans doute lié à l'origine hydromorphe des processus de podzolisation.

Dans les milieux tempérés, RIGHI (1977) a également mis en évidence des taux très élevés de matières organiques extractibles dans les horizons d'accumulation. Mais le protocole expérimental, très différent, ne permet pas de comparaisons plus fines entre ses résultats et les nôtres.

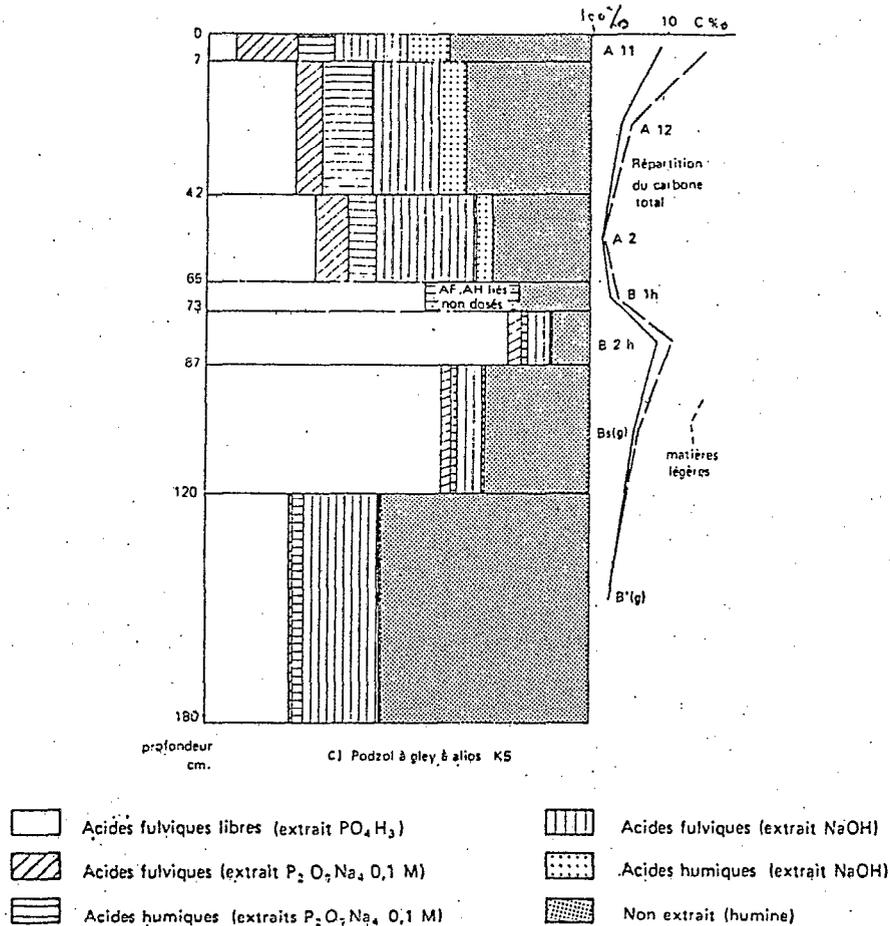


Figure 36.- Fractionnement de la matière organique de podzols guyanais. (TURENNE, 1975).

4.- Distinction entre horizons B spodiques et A₁ enfouis

Localement, dans les loussékés et certaines alluvions très sableuses, il existe des horizons ressemblant morphologiquement à des alios, et décrits comme tels (DELIBRIAS *et al.*, 1983), alors que la présence de divers restes végétaux appartenant à des organes aériens (graines, feuilles, branches ...) les apparenteraient plutôt à des horizons de surface ultérieurement enfouis. Le fractionnement paraît confirmer ce diagnostic : en effet, les teneurs en extrait soude et en humine dépassent toujours 18 à 20 %, ce qui les distingue des alios podzoliques.

Nous illustrerons ces propos par l'exemple d'un horizon enterré (bordure du Kouyou, près d'Owando), compacté, localement induré, contenant des débris végétaux datés à 35 000 ans environ (DELIBRIAS et al., 1983), donc d'âge équivalent à l'aliôs de Gangalingolo (voir Chapitre IX) (Fig. 37). Parmi les échantillons étudiés, il s'agit du sol sur lequel les différences avec les aliôs sont le moins flagrantes.

Deux niveaux ont été analysés : GS 21-2 correspond à l'horizon enfoui, GS 21-3 à un niveau noir, subhorizontal, intercalé, correspondant à un niveau de circulation des eaux au sein de cet horizon enfoui.

Les résultats montrent que GS 21-3 a des caractéristiques très proches de celles de l'aliôs (il s'agit, dans les deux cas, de matière organique de percolation), tandis que GS 21-2 s'en distingue plus nettement.

Il existe certes d'autres méthodes plus sélectives pour différencier ces horizons : nous pensons en particulier à l'observation micromorphologique. Mais le fractionnement de la matière organique a l'avantage d'être plus rapide, moins coûteux et plus facile à réaliser dans un laboratoire peu équipé pour la micromorphologie, comme celui de Brazzaville.

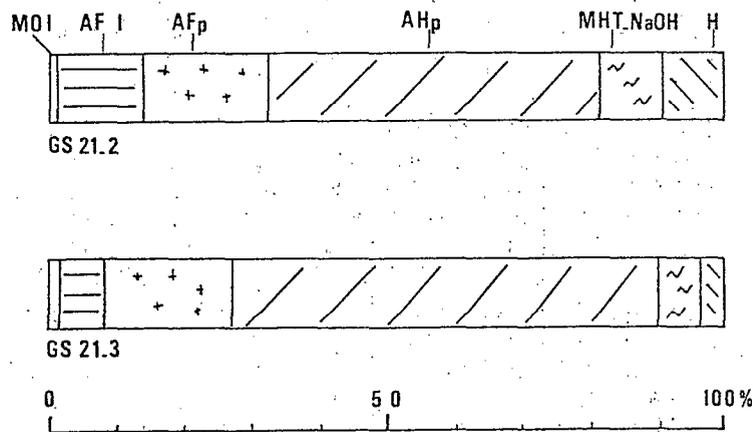


Figure 37.- Fractionnement de la matière organique : échantillons GS 21

III.- ETUDE CHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE

A.- Les sesquioxydes

Deux profils complets ont été analysés. Il s'agit de GASC 1, podzol de lousséké hydromorphe (Figure 20) et PZO 1, un podzol de lousséké sec ayant connu une histoire complexe (Chapitre VIII).

L'analyse des sesquioxydes a été effectuée à l'aide de différents réactifs : oxalate, citrate-bicarbonate-dithionite (CBD), tétraborate et pyrophosphate, suivant les modalités décrites par JEANROY (1983). Les résultats sont reproduits au tableau XII.

Tableau XII.- Teneurs en Fe, Al, Si de deux podzols (en %).

	CBD			Oxalate			Pyrophosphate			Tétraborate		
	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si
<u>GASC 1</u>												
A ₁	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,05	0,1
A ₂	0,2	0,1	0,4	0,2	0,05	0,1						
B _{21h}	0,5	0,4	0,3	0,35	0,5	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2
Alios sup. (B _{22h})	0,2	2,2	0,5	0,2	2,0	0,2	0,1	2,2	0,2	0,05	2,2	0,2
Alios méd. (B _{23h})	0,2	3,7	0,7	0,0	3,6	0,2	0,1	3,7	0,3	0,1	4,3	1,2
Alios inf. (B _{23h})	0,2	3,2	0,7	0,1	5,0	1,2	0,05	2,5	0,2	0,0	2,2	0,3
<u>PZO</u>												
A ₁	0,25	0,2	0,2	0,25	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	0,05	0,1	0,2
B _h en bandes	0,25	0,2	0,0	0,1	0,2	0,0						
A ₂	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1						
B _{21h}	0,4	0,5	0,2	0,3	0,6	0,1	0,3	0,5	0,1	0,2	0,4	0,2
Alios	1,0	14,0	1,0	1,0	23,0	3,9	0,9	13,5	0,6	0,1	3,2	0,1

1.- Le fer

Les teneurs en fer sont extrêmement faibles. Il y a eu une élimination importante de cet élément, fait qu'il convient de mettre en liaison avec l'origine hydromorphe de ces podzols : en effet, la teneur relativement élevée, quelques %, des matériaux sur lesquels sont développés les podzols, qui serait un obstacle absolu à la podzolisation en milieu drainé (TOU-TAIN, 1974), ne joue ici aucun rôle : très mobile dans ces milieux (JUSTE, 1965), le fer a, semble-t-il, été éliminé latéralement par les eaux de la nappe, en préalable à la formation des horizons d'accumulation.

En dépit des très faibles teneurs qui interdisent toute interprétation fine, on remarquera :

- qu'il y a une légère accumulation relative dans l'horizon B_{21h} du profil type GASC 1,

- que les taux de fer sont relativement plus élevés dans PZO 1 que dans GASC 1, fait qui doit certainement être mis en rapport avec l'histoire aérobie assez récente et très particulière de ce site (Chapitre VIII). D'autre part, dans l'aliôs de PZO, les taux de fer extractible au tétraborate sont plus faibles que ceux du fer extractible aux autres réactifs : il n'y a donc que peu de fer sous forme purement organique, mais surtout du fer sous forme organo-minérale, relativement polymérisé (de type II : JEANROY, 1983) et des hydroxydes de fer amorphes ou mal cristallisés.

D'autre part, les faibles taux de fer des podzols actuellement bien drainés sont une confirmation analytique de leur genèse hydromorphe.

2.- L'aluminium

Il convient de distinguer quatre cas :

- Dans les horizons de surface, les taux d'aluminium sont très faibles et égaux, quel que soit le réactif : il s'agit donc surtout d'aluminium lié à la matière organique ;

- dans les horizons B_{21h}, les taux d'aluminium ne sont pas très élevés dans l'absolu. Ils témoignent cependant d'une accumulation relative de formes également liées à la matière organique ;

- dans la partie supérieure de l'aliôs de Gangalingolo (horizon B_{22h}), l'accumulation s'accroît fortement. Les taux d'aluminium sont, en particulier, sans commune mesure avec ceux du fer. Là encore, il s'agit d'aluminium lié à la matière organique sous forme de complexes organo-minéraux ;

- dans la partie inférieure de l'aliôs de Gangalingolo, et surtout dans celui de PZO (B_{23h}), on note un taux d'aluminium nettement plus important. D'autre part, il y a différentes formes d'aluminium :

- * l'extraction au tétraborate caractérise les complexes Al-matière organique,
- * les extractions plus élevées au pyrophosphate et au CBD, identiques entre elles, caractérisent des formes plus polymérisées et complexées de la matière organique,
- * enfin, l'écart important entre l'extraction totale à l'oxalate et celle au CBD, jointe à des différences identiques dans l'extraction de la silice, témoigne de la présence de composés de type allophanes et/ou imogolites. La présence de tels composés dans les B_h de podzols est classique depuis FRANZMEIER et al. (1963), même si leur formation reste controversée (BUURMAN et Van REEUWIJK, 1984 ; FARMER, 1984).

Ces mesures confirment, si besoin en était, le rôle primordial de l'aluminium dans la podzolisation hydromorphe.

On notera enfin que, contrairement à ce qui se passe dans la podzolisation en milieu drainé, les taux de silice amorphe sont faibles.

B.- Nature des fractions minérales fines

Quelques déterminations minéralogiques par diffraction des rayons X ont été effectuées sur les spectres globaux 0-50 μm , puis 0-2 μm , de quelques horizons. Pour la fraction 0-50 μm (poudre), il s'agit des échantillons GASC 1-8 (B_{21h}), GASC 1-9 (B_{22h}), GASC 1-12 (B_{22h}, partie médiane de l'aliôs), GASC 1-15 (B_{23h}, partie inférieure de l'aliôs), PZO 6 (B_{21h}). Pour la fraction 0-2 μm (traitement argile-Mg), l'analyse a été poursuivie sur les échantillons GASC 1-8 GASC 1-9, GASC 1-15.

1.- Résultats (voir annexes)

* Pour la fraction 0-50 μm , n'apparaissent, dans l'horizon B_{21h} et dans la partie supérieure de l'horizon B_{22h}, que du quartz et du titane, sous forme de rutil et surtout d'anatase. Dans la partie inférieure de l'horizon B_{22h} et dans le B_{23h}, n'apparaissent que du quartz et de la kaolinite.

* Lorsqu'on analyse la fraction 0-2 μm (traitement argile-Mg), la kaolinite apparaît dans les trois horizons B_{21h}, B_{22h}, B_{23h}. Mais dans les horizons B_{21h} et B_{22h}, ce sont les grains de quartz qui sont, de loin, les plus importants (le pic à 3,54 de la kaolinite étant en outre renforcé par la présence d'anatase), tandis que, dans l'horizon B_{23h}, les pics de la kaolinite sont bien plus importants que ceux du quartz. Il y a, dans cet horizon, une relative concordance entre argiles minéralogiques et granulométriques.

2.- Recherche de la gibbsite

La recherche de la gibbsite a été effectuée sur poudre 0-50 μm après prétraitement Mehra-Jackson (élimination des formes complexées et amorphes de l'aluminium) et H₂O₂ (élimination de la matière organique).

Elle s'est avérée négative sur les trois échantillons. Il ne semble donc pas qu'il y ait de gibbsite dans les horizons d'accumulation des podzols de loussékés. Ce fait paraît en accord avec la présence, dans les B_h, de silice amorphe et de grandes quantités de matière organique, qui ont orienté les processus vers la néoformation de composés de type allophanes. Il s'oppose toutefois à des observations de RIGHI (1977), qui a observé la présence de gibbsite dans les B_h aliotiques des podzols des Landes.

C.- Conclusions

Le quartz forme la totalité des fractions supérieures à 50 μm . Le cortège des constituants minéraux des horizons d'accumulation sporadiques des fractions 0-50 μm est également d'une remarquable simplicité : du quartz abondant, même dans les fractions les plus fines, très peu de minéraux lourds qui se réduisent aux plus stables d'entre eux, rutil et anatase (oxydes de titane), de la kaolinite héritée du matériau ferrallitique, et un peu d'amorphes de type allophanes.

La fréquence des éléments n'est pas la même dans les différents horizons. D'un point de vue minéralogique, il apparaît notamment que la partie supérieure de l'horizon B_{22h} se rapproche nettement de l'horizon B_{21h}, tandis que la partie inférieure de ce même horizon est en continuité avec l'horizon B_{23h} (base de l'aliôs).

La présence relativement abondante d'aluminium dans l'horizon B_{23h} lui confère des caractéristiques d'horizon B_s.

IV.- ETUDE MICROMORPHOLOGIQUE

La terminologie employée est empruntée à De CONINCK et al. (1973) et FEDOROFF (1979). Des documents photographiques sont joints en annexe.

A.- Microscopie optique

1.- Horizon B_{21h}

Le squelette de l'horizon B_{21h} paraît entièrement formé de grains de quartz émoussés et arrondis, entre lesquels il est possible d'observer des grains anguleux, de la taille des limons, et également constitués de quartz.

La matière organique est présente sous forme de granules irréguliers (pellets ? microagrégats?), de taille variée (20 à 150 μm) et de couleur noire, associés aux limons, ainsi que par quelques rares débris végétaux encore reconnaissables. L'ensemble forme un plasma organique polymorphe. Il n'y a pas, dans cet horizon, de revêtements de matière organique sur les grains de quartz.

Enfin, la microporosité paraît extrêmement faible. Il n'y a pas, en particulier, de vides d'entassement.

2.- Horizons B22h et B23h

Ces deux horizons sont très ressemblants au microscope optique. Seules les distinguent leur couleur, brun sombre pour le B22h, et brun rougeâtre pour B23h, et l'épaisseur des revêtements, peut-être plus importante, au moins pour les termes extrêmes, dans le B22h.

Le squelette est toujours constitué des grains de quartz arrondis, mais les fractions les plus fines, observées dans le B21h, ne sont pas visibles, soit qu'elles sont masquées par la matière organique, soit qu'elles sont absentes.

La matière organique est constituée par d'épais revêtements formant un plasma organique monomorphe continu, qui enveloppe le squelette quartzéux. C'est la forme la plus fréquente de la matière organique, caractéristique des horizons spodiques. Des débris végétaux figurés apparaissent par endroits ; il s'agit de racines généralement en parfait état de conservation, en coupes transversales ou longitudinales, mais également de débris racinaires plus transformés.

Il ne semble pas y avoir de matière organique sous formes de granules, pellets ou microagrégats.

La microporosité paraît également très faible, tout l'espace entre les grains de quartz étant occupé par la matière organique (sauf dans quelques échantillons, où il semble cependant s'agir d'artefacts liés aux arrachements consécutifs à la mauvaise imprégnation des échantillons).

Des fentes de dessiccation apparaissent localement, mais là encore il s'agit probablement d'artefacts liés au séchage à l'air ou à la mise sous vide des échantillons.

B.- Microscopie électronique à balayage (MEB)

1.- Horizon B21h

L'horizon B21h apparaît comme un extraordinaire empilement de particules minérales anguleuses juxtaposées aux grains de quartz. Le couplage du MEB avec un analyseur de R.X confirme que les particules minérales sont constituées de silice, même pour les plus fines, de taille inférieure au micron. L'aspect de ces particules montre qu'il s'agit en fait de quartz résiduels extrêmement fins.

Il est également possible d'observer localement des agrégats d'allure organo-minérale, mais en quantité relativement peu importante par rapport aux particules organiques ou organo-minérales répertoriées au microscope optique.

2.- Horizon B22h

L'horizon B22h apparaît comme formé d'un épais gel de matière organique enrobant les grains de quartz. Il s'agit de matière organique monomorphe. La dessiccation, soit naturelle soit liée à l'échantillonnage (séchage à l'air, mise sous vide), a fortement craquelé ces gels en polyèdres anguleux, à faces planes, et ménagé des vides interstitiels entre matière organique et grains de quartz, dont ils épousent la forme.

A un grossissement fort, on se rend compte que ces gels de matière organique ont une porosité très faible et qu'ils sont très homogènes.

Par endroits, apparaît une structure "floconneuse" peu développée. Les fragments organiques, identifiables, sont rares et toujours formés de débris racinaires.

3.- Horizon B23h

Cet horizon apparaît très semblable au précédent. Il s'en différencie cependant sur certains points :

- les effets de la dessiccation paraissent moins poussés : les craquelures sont moins nombreuses, moins nettes, plus petites et la matière organique "colle" plus aux grains ;

- la structure floconneuse est plus développée. Il en résulte une microporosité un peu plus importante, ainsi qu'une certaine hétérogénéité.

A un fort grossissement, ces flocons révèlent l'existence de quelques filaments mycéliens.

C.- Microscopie électronique à transmission (MET)

L'examen d'échantillons de sols non perturbés au microscope électronique à transmission est une méthode récente, qui a nécessité la mise au point d'une technique particulière (VILLEMIN et TOUTAIN, 1985). L'étude s'effectue sur des fragments minuscules, de l'ordre du millimètre.

L'analyse des échantillons d'altos a été effectuée après élimination partielle des grains de sables par glissements sélectifs sur une feuille de papier légèrement inclinée, après broyage ménagé ; l'horizon B21h a été observé tel quel, au risque d'endommager le couteau servant à la fabrication des coupes ultra-minces.

La matière organique des horizons d'accumulation est d'une grande opacité aux électrons, ce qui témoigne d'une grande affinité osmiophile (l'osmium est utilisé pour figer les structures dans les lames minces) et doit peut-être être relié aux très forts taux de matière organique extractible.

1.- Horizon B21h

La lecture des coupes ultra-minces, d'assez mauvaise qualité dans cet horizon très quartzeux, fait apparaître trois types d'objets :

- d'un côté des particules fines, quartz et/ou argiles non agrégées mais dispersées, sont associées à des granules élémentaires de matière organique, d'une taille avoisinant les 100 Å, qui semblent recouvrir toute leur surface,

- des agrégats de matière organique, d'une taille de quelques microns, sont formés de flocons eux-mêmes constitués de granules élémentaires condensés. Il semblerait que ces agrégats contiennent des particules minérales. Ils sont peut-être à rapprocher de ceux observés au MEB,

- enfin, quelques rares parois cellulaires semblent s'être partiellement dégradées sur place en donnant des granules élémentaires.

2.- Horizon B22h

L'observation fait apparaître des polyèdres correspondant aux revêtements craquelés observables au MEB.

Ces revêtements sont presque totalement constitués de matière organique et ont une structure très homogène sur toute leur épaisseur.

A des grossissements plus importants, la matière organique paraît composée d'entités très différentes :

- la majeure partie de la matière organique est sous forme de flocons constitués de granules élémentaires de 100 Å environ, qui s'assemblent fortement entre eux pour donner des gels,

- apparaissent également, et en quantité relativement abondante, des structures encore reconnaissables de parois cellulaires ayant subi une dégradation partielle, et provenant, pour certaines, de racines, pour les autres, de bactéries, d'actinomycètes et de filaments mycéliens. Ces restes aboutissent à la formation sur place de granules élémentaires d'aspect très semblables aux précédents.

3.- Horizon B23h

Les images observées sont totalement différentes. En particulier, apparaissent de nombreuses particules minérales phylliteuses. La matière organique y est entièrement constituée de granules élémentaires présents sous deux formes différentes :

- soit associées aux particules phylliteuses avec lesquelles elles forment des agrégats,
- soit formant, comme dans l'horizon B_{22h}, des flocons correspondant à des gels.

Il ne semble pas y avoir de restes cellulaires dans cet horizon.

4.- Débris de racines

Nous avons également observé des restes de racines provenant des essences arborées conservées dans l'aliot.

On trouve quelquefois, fixés sur ces parois dont ils épousent la forme, des actinomycètes et/ou des bactéries. Les parois cellulaires paraissent avoir subi une transformation, comme le montre la grande opacité aux électrons. On y trouve fixés des granules, qui paraissent provenir d'une biodegradation sur place.

5.- Conclusion

Le MET est un outil extrêmement intéressant, car il permet des observations à très grande échelle, à l'intérieur des volumes, et pas seulement en surface comme le MEB, dont il apparaît très complémentaire.

Cependant, son utilisation se heurte à un problème de représentativité. Les échantillons ont, en effet, une taille de l'ordre du millimètre, voire moins, et il est très difficile de savoir si le prélèvement constitue un cas particulier, ou est représentatif de l'ensemble de l'horizon étudié.

D'autre part, dans un tout autre ordre d'idées, le MET a pour l'instant été surtout utilisé sur des humus. Il ne semble pas avoir servi à décrire des B_h. Il est donc difficile d'établir une correspondance ou une comparaison avec d'autres travaux.

Pour toutes ces raisons, nous resterons très prudents dans nos conclusions. Toutefois, il est possible de faire les remarques suivantes : la matière organique élémentaire, à cette échelle d'observation, est constituée de granules d'un diamètre d'environ 100 Å, ce qui semble être une règle générale dans tous les horizons observés à ce jour (TOUTAIN et VILLEMIN, communication personnelle). Ces granules paraissent avoir deux origines possibles :

- l'illuviation de substances organiques solubles provenant des horizons de surface, et précipitant dans les horizons B_h,

- une redistribution sur place de restes cellulaires dégradés.

Il se pose ainsi un problème de convergence de formes, qui nécessite des études complémentaires avant toute interprétation plus précise.

D.- Synthèse de l'observation micromorphologique

Malgré les difficultés d'une telle synthèse, nous pouvons proposer un schéma d'ensemble, reliant entre elles les différentes échelles d'observation.

1.- Horizon B21h

L'horizon B21h apparaît comme un horizon d'accumulation absolu de limons fins, de nature quartzreuse résiduelle, provenant du "lavage" des horizons A₂, et d'accumulation relative de matière organique.

Cette matière organique ne forme pas de revêtements, mais des grains, qui pourraient être des "condensations" de matière organique plus ou moins liée à des particules minérales fines, kaolinite, voire quartz. Il y a également quelques débris cellulaires, qui paraissent dégradés sur place.

RIGHI (1975) rappelle les différentes hypothèses concernant l'origine de ce type de matière organique dans des horizons spodiques. Cette discussion nécessitant la prise en compte des données chronologiques, nous donnerons une interprétation plus approfondie de ces éléments au chapitre X.

2.- Horizon B22h

Au microscope optique, cet horizon apparaît comme entièrement constitué d'un squelette quartzeux, enrobé de revêtements monomorphes. Le MEB montre qu'il s'agit de revêtements très épais, très homogènes, et semble-t-il, entièrement constitués de matière organique amorphe.

Le MET permet de préciser ces observations : les gels de matière organique, responsables des revêtements, apparaissent sous forme de flocons très denses aux électrons, de matière organique constituée par des granules élémentaires.

Mais dans les revêtements, apparaissent également des débris cellulaires, qui sont les fantômes d'une activité biologique sans doute révolue, puisque les C/N élevés et les forts taux d'extraction de la matière organique ne vont pas dans le sens d'une activité biologique intense et actuelle, ce qui paraît en accord avec les images obtenues au MEB.

Le problème se trouve ainsi posé, de l'origine des granules élémentaires de matière organique. S'il paraît difficile de concevoir qu'ils résultent tous d'une biodégradation au sein même des horizons spodiques, il est de même impossible qu'ils proviennent tous de l'illuviation. Il y aurait ainsi une convergence de formes et une double origine des particules élémentaires à cette échelle d'observation.

3.- Horizon B23h

Cet horizon est très semblable au précédent au microscope optique. De même, au MEB on retrouve des revêtements très importants, mais ils sont moins homogènes que dans le B22h. En particulier, des plages à structure "floconneuse" apparaissent (*), qui pourraient être dues, ainsi que les images au MET tendent à le prouver, à une agrégation de particules phylliteuses et de matières humiques.

V.- CONCLUSION

Grâce à la multiplicité des moyens d'étude, il est possible de caractériser de façon relativement précise les horizons d'accumulation, dont la comparaison synoptique est présentée au Tableau XIII. On remarquera que si les horizons B22h et B23h, horizons qui forment l'aliot, diffèrent sur certains points, ils n'en sont pas moins en continuité l'un de l'autre, et s'opposent par l'ensemble de leurs caractères à l'horizon B21h. On notera toutefois que, du point de vue de l'analyse chimique et minéralogique, l'horizon B22h est intermédiaire entre les horizons B21h et B23h. Ce dernier horizon a des caractères d'horizons B_s.

(*) Cette structure n'a aucun rapport avec les flocons de matière organique observés au MET.

Tableau XIII.- Caractéristiques des horizons d'accumulation.

	Horizon B21h	Horizon B22h (alios humique)	Horizon B23h (alios humique)
Propriétés physiques			
Épaisseur	centimétrique	métrique	métrique
Couleur	gris souris	noir à brun sombre	brun chocolat à ocre
Structure	massive	massive	massive
Consistance	meuble, compacte, cohérent mais fragile à l'état sec, collant à l'état humide	fortement cimentée, s'effrite en surface à l'état sec	cimentée, peu friable à l'état sec
Transition		brutale régulière	graduelle régulière
Granulométrie	LF : 6-9 % A : 2-3 %	LF : 1-3 % A : 2-4 %	LF : 1-3 % A : 6-7 %
Densité apparente	1,92	≈ 1,8	≈ 1,8
Matière organique			
Totale	~ 1 %	2-30 %	2-30 %, mais HO-B22h > HO-B23h
C/H	18-20	> 40	> 40
Fractionnement	MHT-NaOH + humine : 15-20% C total		MHT-NaOH + humine : 6-8 % C total
Analyse chimique et minéralogique			
Fe, teneurs	≈ 0,5 %	≈ 0,2 %	≈ 0,2 %
Al, teneurs	≈ 0,5 %	≈ 2 %	> 3 %
Al, formes	organiques	organiques	organique, organo-minérale et allophanes
Nature éléments < 2 µm	quartz +++ kaolinite c	quartz +++ kaolinite + (** à la base)	quartz + kaolinite +++ allophanes +
Minéraux lourds	rutile c anatase c+	rutile c anatase c+	
Micromorphologie			
microscopie optique	pas de revêtements HO en grains	revêtements épais	revêtements épais
HEB	microagrégats	revêtements homogènes HO amorphe	revêtements à plaques "floconneuses" HO amorphe
MET	granules + c débris cellulaires	granules et débris cellulaires ; gels purements organiques	granules ; gels organiques et HO associée à phyllites
Divers (à Gangalingolo)	absence totale de flore racinaire fossile	très abondantes racines d'essences arborées fossiles <u>in situ</u> (facultatif)	racines fossiles d'essences arborées, plus fines que dans B22h (facultatif)

CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME PARTIE

Cette deuxième partie de notre travail nous a permis d'étudier la répartition des sols en fonction de la topographie et de l'hydromorphie, de décrire relativement rapidement leur dynamique actuelle, et surtout de caractériser de façon assez précise les horizons d'accumulation.

Nous voudrions, en guise de conclusion, comparer rapidement les podzols des sables batéké à d'autres podzols hydromorphes, en l'occurrence les podzols des régions tempérées étudiés par RIGHI (1977) et les podzols tropicaux étudiés par TURENNE (1975). Nous avons conscience du fait que cette comparaison ne peut être que fragmentaire, mais elle nous servira à cerner des tendances.

La podzolisation hydromorphe tropicale étudiée en Guyane par TURENNE est une podzolisation en zone plane haute, liée à l'existence d'une nappe perchée. Les horizons B_h sont peu épais et peu organiques, malgré des TMR relativement importants. La matière organique a des C/N relativement bas, de l'ordre de 20, et comporte des quantités assez importantes d'humine. Les teneurs en fer sont relativement plus élevées que dans nos podzols (5 %.), et surtout du même ordre de grandeur que les teneurs en aluminium. Il n'y a pas, semble-t-il, d'allophanes, mais de la gibbsite.

Les podzols des Landes, analysés par RIGHI, sont liés à une nappe phréatique de base, battant au rythme des saisons. Les podzols les plus secs se trouvent en sommet de toposéquences. Si les accumulations organiques sont peu importantes, les horizons spodiques n'en ont pas moins des caractères qui les rapprochent des sols de loussékés : B_{21h} meuble, à matière organique formant des agrégats, et B_{22h} induré, à matière organique amorphe à C/N élevée (30-40). Les formes libres du fer (méthode DEB) sont peu importantes, voire absentes, et toujours nettement inférieures aux teneurs en aluminium libre, dont une fraction gibbsitique en B_s (mais il n'y a pas d'indice d'allophanes).

Il apparaît ainsi que la podzolisation hydromorphe sur sables batéké, en dépit d'inévitables divergences liées à des environnements historiques et écologiques fondamentalement différents, semble plus proche du modèle décrit par RIGHI (1977) en milieu tempéré que de celui décrit par TURENNE (1975) en milieu tropical.

TROISIEME PARTIE

DYNAMIQUE HISTORIQUE DE LA PODZOLISATION ET DES PAYSAGES

C'est ici la dimension historique de la pédogénèse et de la formation des paysages qui sera discutée.

Après avoir rappelé les caractéristiques des remaniements de sols (Chapitre VII), nous illustrerons par un exemple l'intérêt des phases de remaniements et de leurs marqueurs, constitués ici par des industries préhistoriques, dans la reconstitution des phases pédogénétiques (Chapitre VIII). Cette approche de terrain sera ensuite complétée par des analyses de laboratoire, qui permettront de préciser quelles sont les limites chronologiques et les paléo-environnements des différentes phases pédogénétiques (Chapitre IX).

En possession de tous ces éléments, le moment sera alors venu d'en faire la synthèse : on verra notamment comment les différentes phases climatiques des 80 derniers millénaires ont orienté l'évolution des paysages, de la végétation et de la pédogénèse (Chapitre X).

Chapitre VII : Remaniements des sols et évolution des paysages

Chapitre VIII : Approche pédo-archéologique des phases de formation des podzols

Chapitre IX : Approche analytique des paléo-environnements

Chapitre X : Bilan des approches : Histoire de la podzolisation et des paysages.

CHAPITRE VII

REMANIEMENTS DES SOLS ET ÉVOLUTION DES PAYSAGES

De fréquents remaniements sont visibles dans les sols du Congo. Les sols ferrallitiques psammitiques et les podzols des formations batéké n'échappent pas à cette règle. Dans certaines conditions, les remaniements peuvent servir de "marqueurs" pour identifier des phases de mise en place des matériaux, voire de pédogénèse : c'est notamment le cas pour les sols qui ont subi des apports latéraux résultant de l'existence de phases érosives sur les versants. Nous nous sommes abondamment servi de cet outil pour l'étude qui suit. Cependant, on sait que diverses écoles se sont affrontées au sujet des explications à donner à ces phénomènes. En particulier, de nombreux auteurs "autochtonistes" n'acceptent pas l'hypothèse de remaniements latéraux le long des versants, aboutissant à la formation de sols "allochtones", par rapport à la roche-mère. C'est pourquoi il nous a semblé nécessaire de consacrer ce chapitre au rappel des différentes théories en présence, puis d'illustrer et de justifier notre démarche de façon précise.

I.- LES REMANIEMENTS DES SOLS : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

A.- Les stone-lines, définition et propriétés

Dans les sols, la preuve de remaniements est apportée par la présence d'un niveau très riche en éléments grossiers, séparant deux niveaux dépourvus de tels éléments.

Le sol se subdivise alors en trois niveaux successifs, aux transitions toujours brutales :

I. Les horizons supérieurs du sol, A et B, en principe entièrement dépourvus d'éléments grossiers, et dont l'épaisseur varie de 0 (sols érodés) à plusieurs mètres.

II. Le niveau médian, formé du même matériau fin, est considérablement enrichi en éléments grossiers, qui représentent plus de 50 % du poids du sol. Son épaisseur varie généralement d'une dizaine de centimètres à un mètre, mais des épaisseurs plus importantes ont été signalées. Cette couche prend le nom de "stone-line" ou de "nappe de gravats".

III. Les horizons inférieurs des sols, B et C, ou seulement C ; en effet, la stone-line repose généralement brutalement - mais ce n'est pas une règle absolue - sur les horizons d'altération.

Cette stone-line est composée de matériaux très variés : débris de quartz, fragments de roches plus ou moins altérés, gravillons ferrugineux, éléments de cuirasse, blocs pouvant atteindre plusieurs centaines de kilos, industries préhistoriques. Il est parfois possible de la subdiviser en deux parties distinctes :

- une partie inférieure, formée de débris entièrement autochtones souvent de taille plus fine,
- une partie supérieure, plus grossière, où apparaissent des éléments allochtones.

La surface de la stone-line est souvent grossièrement parallèle à la surface du sol.

B.- Rappel des différentes théories expliquant les stone-lines

Cinq types d'hypothèses permettent de construire un modèle expliquant la présence d'éléments grossiers en nappe dans un sol.

1.- Les remaniements biologiques

Les animaux fousseurs, termites en particulier, sont responsables d'un brassage biologique important. Leur activité aurait pour conséquence de remonter des éléments fins en surface, avec pour corollaire, l'ensevelissement progressif des éléments grossiers, dispersés dans le sol,

qui se stabilisent à l'endroit où l'activité animale n'est plus suffisante pour que leur descente relative se poursuive (GRASSE, 1950 ; NYE, 1955 ; BOYER, 1959 ; GRASSE et NOIROT, 1959 ; LEVEQUE, 1969, 1979).

2.- Enfoncement sur place

LAPORTE, auteur de cette théorie (1962), estime que les éléments grossiers se sont enfoncés sur place, par effet de leur densité, dans un sol saturé d'eau. Il s'agit là d'un enfoncement absolu, et non plus relatif, comme précédemment. Cette théorie n'a jamais pu être prouvée. Au contraire, RIQUIER (1969) et LEVEQUE (1969) apportent des arguments irréfutables, contraires à cette hypothèse : absence de classement des matériaux d'après leur densité, dans ce milieu semi-fluide, respect de l'ordre chronologique dans le dépôt des industries préhistoriques, nécessité, pour que les éléments grossiers puissent s'enfoncer, d'une fluidité telle qu'on ne voit pas comment les sols peuvent tenir sur les pentes fortes.

Il convient d'y ajouter les faits suivants :

* CAHEN et MOEYERSONS (1977), frappés, par l'aspect quelquefois anarchique des niveaux archéologiques dans les sols, ont essayé de prouver expérimentalement cette hypothèse, en soumettant des colonnes de sols à des alternances d'humectation et de dessiccation, simulant soit des précipitations, soit des battements de nappe. Les résultats sont peu probants : les artefacts posés sur les colonnes de sols n'y pénètrent que d'un à deux centimètres, et ceux placés à l'intérieur ne migrent pas, sauf dans le cas de sédiments non stabilisés, dont ils accompagnent le tassement.

* D'autre part, il nous paraît tout à fait impossible que des charbons de bois, fréquents dans certaines stone-lines, d'une densité proche de 1, puissent s'enfoncer dans des sols dont la densité apparente sèche est de 1,6 à 1,8, et humide, de 2.

Tous ces faits permettent d'éliminer sans grand risque cette hypothèse.

3.- Les remaniements latéraux

Ce type de phénomène fait appel à des phases érosives, avec départ ou apport de matériaux. On a, dans un premier temps, formation d'un pavage d'érosion en climat plus aride, par enlèvement des particules fines, puis recouvrement par du matériau fin, d'origine surtout colluviale, c'est-à-dire résultant d'un transport à faible distance, le long des versants.

Ce processus implique donc une mise en place des sols, échelonnée dans le temps (RUHE, 1959 ; SEGALIN, 1967, 1969 ; GRAS, 1970).

4.- Le soutirage chimique

Ce soutirage chimique aurait lieu dans les horizons d'altération (COLLINET, 1969) et aboutirait à un amaigrissement d'une tranche de sol où se concentrent les éléments grossiers. Cette hypothèse en permet cependant pas d'expliquer à elle seule la morphologie des sols : en particulier, l'absence d'éléments grossiers dans les niveaux supérieurs. Par contre, elle permet de comprendre que les stone-lines sont souvent parallèles à la surface du sol. Il est vraisemblable qu'elle ne fait que se superposer à d'autres phénomènes. Elle nécessite d'autre part l'existence de discontinuités, lieux privilégiés de circulation des solutions dissolvantes, ce qui n'est pas le cas dans les matériaux sableux, dans lesquels il n'y a, en outre, pas suffisamment de minéraux altérables pour que cette action puisse être importante.

5.- Les processus multiples

Certains auteurs font appel à des processus multiples, combinant différents schémas. Ils donnent le plus souvent le rôle primordiale aux remaniements latéraux (VOGT et VINCENT, 1966).

C.- Existence de remaniements latéraux au Congo

Des travaux très variés, fondés soit sur l'observation des stone-lines, soit sur des études géologiques ou des approches géographiques, font état d'importants remaniements latéraux, soit sous forme de déplacements en masse, ou de transports plus diffus.

1.- Le littoral

GIRESE et al. (1982) ont montré qu'il y a 12 000 ans, la vitesse de sédimentation des alluvions du fleuve Congo a été multipliée par 5. Ce fait est à mettre en liaison avec une reprise de l'érosion lors de la réhumidification kibangienne, sur des versants encore peu protégés par la végétation.

2.- La Cuvette congolaise

DELIBRIAS et al. (1983) font état de nombreux cas d'horizons organiques enfouis, dont l'ensevelissement serait consécutif à la divagation des rivières.

3.- Le Mayombe et la Sangha

GRAS (1970) fait appel à un cycle "pavage d'érosion-recouvrement" pour expliquer les stone-lines du Mayombe. Les observations

approfondies que nous avons pu mener récemment dans ces deux régions (SCHWARTZ et LANFRANCHI, 1984 ; LANFRANCHI et SCHWARTZ, en cours de rédaction) montrent des phénomènes que seuls des remaniements latéraux permettent d'expliquer : horizons enfouis, stone-lines superposées ou recouvertes par plus de 8 m de matériau fin, terrasse maluekienne en sommet de colline, à 40 m au-dessus du niveau de base actuel, présence, au sommet des stone-lines, de nombreux ateliers de taille préhistoriques, parfois superposés, visiblement en place ...

4.- Formations Batéké

GUILLOT et PEYROT (1979) y ont étudié le fonctionnement des vallées sèches. Celles-ci ont un écoulement très intermittent lors de pluies exceptionnelles, centenales ou millénaires : elles charrient alors, pendant quelques heures, un débit solide important, provenant de l'érosion des versants. Il s'agit, pour reprendre une expression des auteurs, d'un "phénomène cataclysmique". C'est également à ces phénomènes violents que fait appel SAUTTER (1970) pour expliquer le fonctionnement des cirques : il s'agit de déplacements en masse, glissements de terrain, concernant des volumes importants de matériaux. Pour notre part, nous avons pu observer de tels glissements, ainsi que, à une autre échelle, des horizons A₁ enfouis (Madidi).

Toutes ces observations font donc état de l'importance des transferts de matières solides, qui paraissent ainsi être, au Congo, le principal facteur de remaniement des sols.

D.- Cas particulier des loussékés

1.- Preuves des remaniements latéraux

Dans les loussékés, les éléments grossiers sont pratiquement tous constitués par des outils provenant d'industries préhistoriques diverses, disposés en nappe relativement discontinues dans les horizons A₂ ou les alios. Il ne s'agit donc pas, à proprement parler, de stone-lines. Toutefois, seuls les mécanismes qui permettent de comprendre les stone-lines peuvent expliquer leur présence en niveaux généralement bien individualisés.

Le soutirage chimique, responsable de la formation des dépressions où se trouvent localisés les loussékés des plateaux (BOCQUIER et De BOISSEZON, 1959), ne permet pas d'expliquer la présence d'industries lithiques au sein même des horizons A₂ podzoliques, parfaitement sableux et homogènes.

De même, une action biologique semble ici à exclure. Les termites responsables des grandes termitières épigées (macrotermes) n'apprécient guère les milieux sableux. De fait, les termitières sont rares sur les formations batéké. En particulier, dans les loussékés, elles sont pratiquement

inexistantes. D'autre part, il ne faut pas oublier que la présence d'une nappe d'eau dans les loussékés hydromorphes est un facteur limitant absolu à leur présence. On pourra objecter à ce fait que la nappe d'eau n'a pas forcément toujours existé. La réponse à cette question est simple : prenons par exemple le cas de Gangalingolo. Selon toute vraisemblance, la nappe d'eau y a toujours existé depuis le début du Kibangien, soit 12 000 ans. Or, l'industrie préhistorique présente dans le A₂ est datée à 2 370 ± 80 ans B.P. (Chapitre IX).

L'activité biologique ne peut donc expliquer la présence de ces niveaux archéologiques, pas plus à Gangalingolo que dans d'autres cas analogues. Cela ne signifie pas qu'il n'y ait pas eu de remaniements d'origine biologique : la présence de grains Inkisi non usés dans les sables batéké, à Gangalingolo (SCHWARTZ et RAMBAUD, 1983), ne peut s'expliquer que par un brassage biologique le long des versants.

D'autre part, on trouve également dans les loussékés la preuve de l'existence de remaniements latéraux : présence d'horizons enfouis (Gangalingolo, Km 45, et in : De BOISSEZON et GRAS, 1970 ; DELIBRIAS et al., 1983), superposition d'horizons d'origine différente. Nous citerons, par exemple, un lousséké démantelé en berge de la Louna. Une industrie préhistorique, associée à des charbons de bois datés à 3 700 ans (Gif 6504) s'y trouve à la limite d'un horizon A₂ de podzol, recouvert par un matériau colluvial jaune, provenant des versants. Ce lousséké, presque complètement érodé par un méandre de la Louna, n'est donc plus fonctionnel depuis au moins 3 700 ans. On verra, au Chapitre suivant, un cas analogue, où cinq arguments très différents prouvent de façon certaine qu'il y a eu des transports de matières solides importants.

2.- Les explications anciennes

Plusieurs interprétations ont été données à ces phénomènes de remaniements latéraux dans les loussékés.

Ainsi, sur les plateaux batéké, De PLOEY (1965), cité par LE MARECHAL (1966), explique l'origine des dépressions où se trouvent les loussékés, par des tourbillons de vent ("blow-outs"), qui seraient également responsables de la couleur blanche du sable, par enlèvement des particules fines. Cependant, les analyses morphologiques faites par CAHEN et MORTELMANS (1973) ne montrent aucune trace de chocs éoliens, pas plus que celles que nous avons effectuées dans la région de Brazzaville. CAHEN et MORTELMANS expliquent ceci par le fait que l'attrition a dû être insuffisante, ce qui paraît peu plausible quand on voit l'ampleur des phénomènes évoqués par De PLOEY. Comme l'ont fait BOCQUIER et De BOISSEZON (1959), il convient de dissocier des phénomènes qui sont responsables de la formation de ces Cuvettes (soutirage), des phénomènes ultérieurs de podzolisation. En fait, il ne semble pas y avoir eu, sur les plateaux, de phénomènes éoliens récents, analogues à ceux observés par GIRELLE et LE RIBAUT (1981) sur le littoral, en raison certainement de surfaces de déflations qui n'ont pas été suffisantes.

Dans les sols de collines, De BOISSEZON (in : De BOISSEZON et JEANNERET, 1965, et De BOISSEZON et GRAS, 1970), et LE MARECHAL (1966) notent de nombreux cas de remaniements, liés à l'érosion. En particulier, les loussékés secs des vallées et terrasses correspondent, pour eux, à des dépôts de matériel colluvio-alluvial peu évolué, plutôt alluvial pour De BOISSEZON, plutôt colluvial pour LE MARECHAL qui souligne l'importance du ruissellement.

Pour sa part, De PLOEY (1963) met en évidence l'existence d'une phase d'active érosion, qui aboutit, par ruissellement puis transport torrentiel, à des épandages de sables proluviaux dans la plaine de Kinshasa. Cet auteur lie ces dépôts au Léopoldvillien, et donne deux niveaux datés, qu'il considère comme les limites de cette période : 6 300 ans B.P. et plus de 30 000 ans B.P. On sait maintenant que ces deux dates doivent être rapportées aux périodes humides du Kibangien et du Njilien. Nous discuterons de ce fait dans les conclusions de ce chapitre.

II.- NOUVELLES DONNEES SUR LES SABLES BATEKE

Face à ces données éparses, anciennes, parfois contradictoires, il nous a paru nécessaire de procéder à quelques investigations supplémentaires, parues dans un article, dont nous donnerons ici un résumé partiel (SCHWARTZ et RAMBAUD, 1983). Nous ne reviendrons pas sur les analyses morphoscopiques et exoscopiques (exposées au Chapitre I) qui ont montré que les traces de chocs et le polissage aquatique qui a suivi, sont à rapporter à des épisodes anciens, contemporains du dépôt. Ce sont les caractéristiques granulométriques des matériaux que nous voulons rappeler et développer ici.

A.- Homogénéité verticale des profils

Les horizons d'un même profil présentent tous des courbes granulométriques superposables, même quand des phases de remaniement sont mises en évidence par des horizons enfouis ou des niveaux archéologiques (Figure 38 et 39, Tableau XIV). Des différences, liées à un léger tri, peuvent bien évidemment apparaître d'un échantillon à un autre, mais il n'y a jamais de différences spectaculaires ou de gradient vertical, au sein d'un même sol.

B.- Homogénéité spatiale des sables

Il convient de distinguer deux niveaux d'observation :

1.- Echelle du modelé

A cette échelle, les toposéquences semblent homogènes (voir l'exemple de Gangalingolo, Figures 38 et 39), et, lorsque des différences apparaissent, elles ne correspondent pas à un gradient de triage le long des versants.

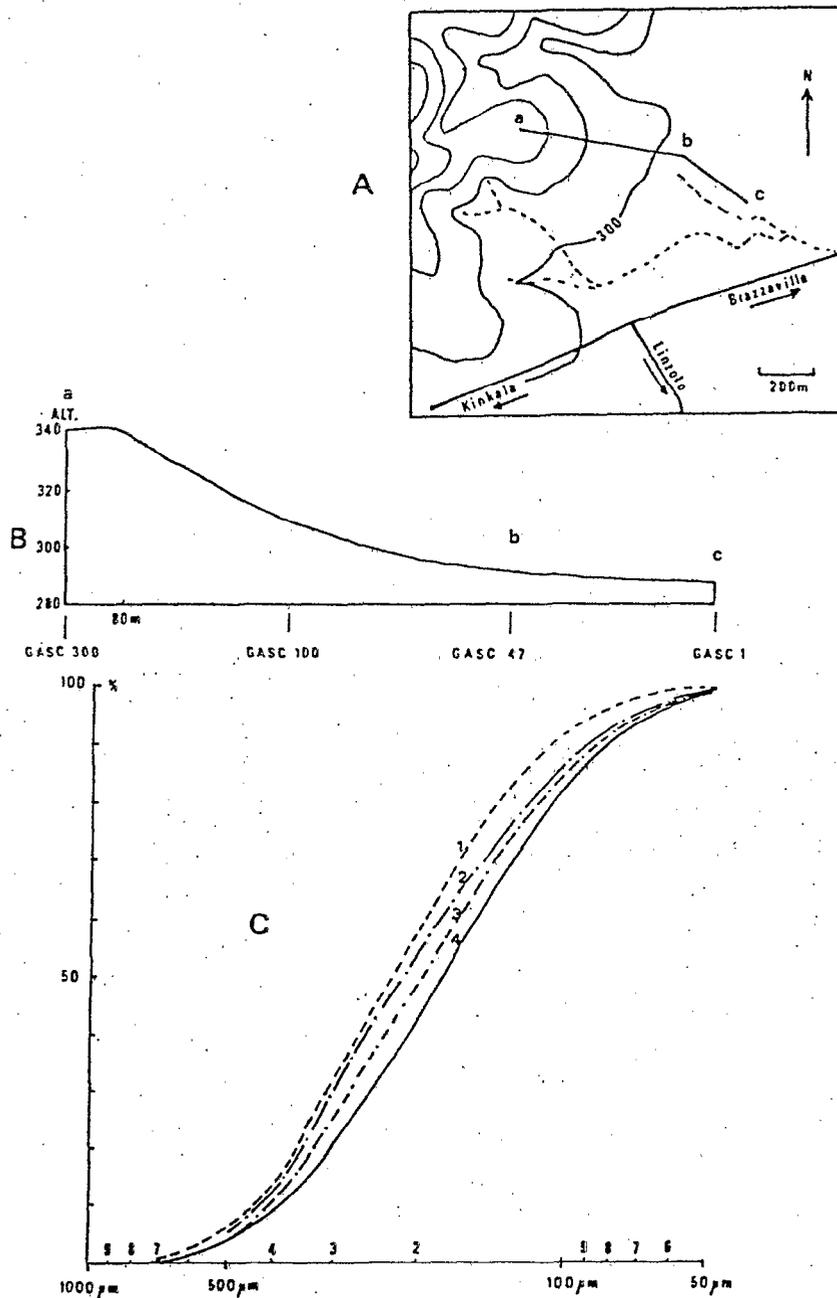


Figure 38.- Granulométrie : Toposéquence GASC.

A. Localisation - B. Coupe topographique - C. Courbes types.

a — b = sols ferrallitiques et hydromorphes

b — c = podzols.

1 = GASC 300-1 - 2 = GASC 100-3 - 3 = GASC 1-9 - 4 = GASC 47-5

Toutes les courbes de la toposéquence sont comprises entre 1 et 4.

Tableau XIV.- Granulométrie : Toposéquence GASC.

Echantillon	Profondeur	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Hé
GASC 1-1	0-15	315	220	140	0,51
1-2	15-25	340	230	160	0,53
1-3	25-35	335	225	145	0,55
1-4	35-55	320	210	151	0,53
1-5	55-80	310	205	125	0,60
1-6	80-95	300	185	115	0,70
1-7	95-105	295	205	130	0,50
1-8	110	310	200	130	0,64
1-9	115	310	205	130	0,59
1-10	120	305	200	130	0,60
1-11	140	305	195	127	0,65
1-12	170	310	200	125	0,64
1-13	200	310	200	125	0,60
1-14	200	320	240	140	0,55
1-15	230	310	205	130	0,60
1-16	260	300	200	130	0,60
2-17	270	320	220	135	0,55
GASC 47-1	0-20	305	216	135	0,52
47-2	40	305	205	135	0,57
47-3	60	305	205	130	0,59
47-4	30	310	202	130	0,62
47-5	90	280	185	120	0,61
47-6	130	290	185	120	0,65
47-7	120	290	185	125	0,58
47-8	100	290	185	125	0,58
47-9	110	290	185	120	0,65
47-10	140	290	170	125	0,58
GASC 100-1	0-20	325	220	140	0,56
100-2	30-50	325	210	130	0,66
100-3	62-79	330	220	135	0,58
100-4	95-115	340	230	138	0,65
100-5	135-155	340	220	130	0,63
100-6	270-300	350	240	140	0,58
100-7	370-390	330	225	135	0,55
100-8	460-480	330	238	135	0,54
GASC 300-1	0-20	345	240	168	0,52
300-2	35	330	230	160	0,54
300-3	70	315	268	145	0,50
300-4	110	345	240	164	0,52
300-5	170	340	235	165	0,54
300-6	250	330	225	155	0,54

Signification de Q₁, Q₂, Q₃, Hé : voir Figure 5.

2.- Echelle régionale

* Dans la zone des collines drainées vers le Pool, les courbes que nous avons obtenues en des lieux très divers (Madidi, Gangalingolo, ORSTOM, Djili, Bitatolo ...) se superposent bien. Elles sont parfaitement comparables à celles fournies par DENIS (1967) près de Marchand (actuellement Missafou), ainsi que CAHEN et MORTELMANS (1973) sur le plateau des Batéké, au Zaïre.

* Sur les plateaux, les mesures que nous avons effectuées (km 45, Inkoubi) sont également comparables entre elles. Il faut cependant noter que les grains sont légèrement plus fins (Q₂ = 170 µm) et mieux triés (Hé = 0,38 à 0,42), que dans la zone précédente. Nos données sont cependant fragmentaires. Elles confirment toutefois des observations de LE MARECHAL (1966).

* Dans la zone des collines drainées vers la Cuvette, la situation est plus variée. Si, vers Gamboma, les résultats analytiques sont proches de ceux collectés à Brazzaville, les grains paraissent plus fins en remontant vers Oyo ($Q_2 = 150 \mu\text{m}$), à défaut d'être mieux triés.

3.- Conclusion

Malgré des données nécessairement fragmentaires, il semble donc y avoir un gradient de taille des grains, ceux-ci devenant de plus en plus fins du sud vers le nord.

Ce qui se passe à l'échelle régionale est toutefois à relier au mode de dépôt des sables, tandis qu'à l'échelle du modelé, l'influence des remaniements est prépondérante. A cet égard, le fait qu'il n'y a ni gradient de taille, ni gradient de triage le long des toposéquences et au sein d'un même profil, lorsque des épisodes de remaniements sont évidemment visibles, nous paraît être une constatation importante.

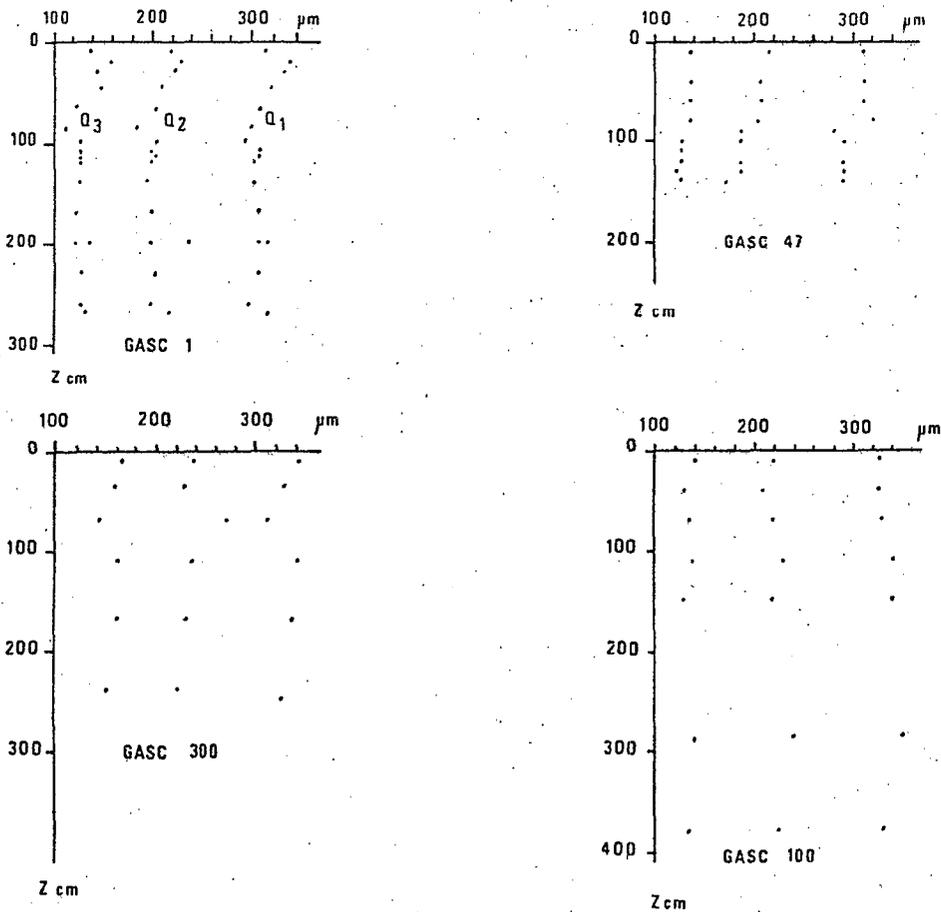


Figure 39.- Granulométrie : Toposéquence GASC. Homogénéité des profils.

C.- Hétérométrie du matériau et des alluvions

Nous avons rappelé la signification de l'hétérométrie (CAILLEUX et TRICART, 1959) au Chapitre I (figure 5). Les échantillons analysés proviennent des zones de collines).

1.- Le matériau sableux

Sur une centaine d'échantillons de sol, l'hétérométrie Hé varie de 0,40 à 0,70, mais 93 % des valeurs sont comprises entre 0,50 et 0,65 (Figure 40). Il s'agit d'un matériau relativement bien trié, mais dans cette gamme de valeurs, Hé n'apporte aucun renseignement sur la nature du dépôt. La courbe de répartition du poids des grains varie peu d'un sol à un autre.

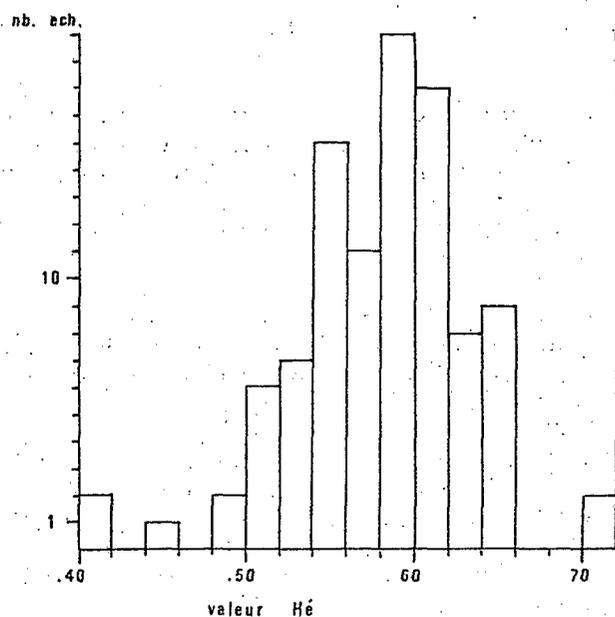


Figure 40.- Histogramme des hétérométries.

2.- Les alluvions

Les alluvions sont très bien triées. Sur 17 échantillons, provenant de rivières au débit et à la force du courant très variés, les valeurs de Hé varient de 0,19 à 0,38, mais les trois quarts sont comprises entre 0,19 et 0,32. Leur taille est variable, bien plus que celle des échantillons de sols, ce qui est dû au fractionnement opéré par le courant.

A l'aide de ces résultats, il semble bien que l'hétérométrie permettent de séparer assez facilement les échantillons ayant subi un tri alluvial de ceux n'ayant subi aucun tri:

III.- CONCLUSION : REMANIEMENTS ET FORMATION DES PAYSAGES

A.- Type de remaniement

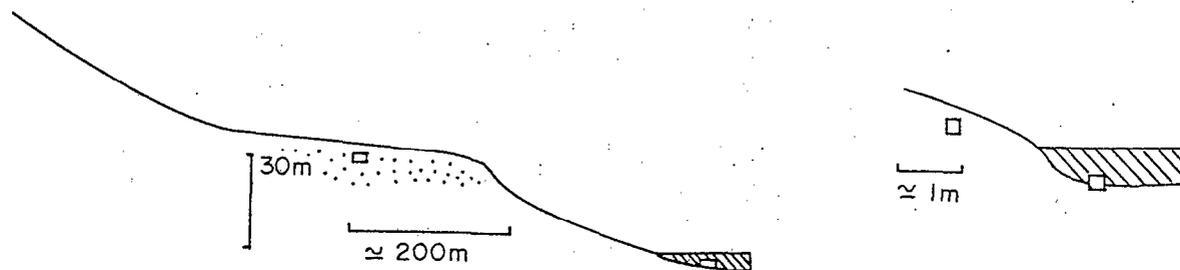
Le moment semble venu de préciser à quel type de transport sont dûs les remaniements que l'on peut observer dans les loussékés.

Nous avons vu que les transports éoliens sont à écarter. L'analyse exoscopique des quartz est formelle : il n'y a pas de marques fraîches de chocs sur les grains analysés. Or, un transport, même à faible distance, se traduit toujours par un nombre important de marques : un transport de 1 à 2 km se traduit, selon LE RIBAUT (1977), par 10 000 chocs non décelables à la loupe binoculaire, mais très nets au MEB.

D'autre part, pour peu que les alluvions actuelles puissent servir de référence, les analyses faites sur les sables de loussékés montrent, à une exception près, une absence de tri alluvial, même pour ceux situés en position de terrasse.

L'exemple du lousséké de la Njili, situé à une trentaine de mètres au-dessus du cours d'eau actuel, à quelques centaines de mètres de distance, est à cet égard significatif : l'hétérométrie des sables blancs (0,56) est celle d'un matériau qui n'a pas subi de tri, et s'oppose nettement à celle des alluvions actuelles (0,32). Un autre exemple est tout aussi significatif. C'est celui d'un gros affluent de la Nambouli (entre les plateaux de Ngo et de Nsa). Deux prélèvements, faits l'un dans la rivière, l'autre juste au bord, montrent des différences de même nature (Figure 41, Tableau XV).

Il semble donc que l'ensemble des sables formant les loussékés des vallées, y compris ceux en position de terrasses, constituent un matériau analogue à celui des versants, donc en place, ou transporté à faible distance le long des pentes. Les terrasses ne correspondent donc pas réellement à des dépôts alluviaux, mais à un simple niveau de base de rivière à charge solide réduite (c'est d'ailleurs le cas de la plupart des cours d'eau des formations batéké ; leur limpidité peut être extraordinaire), entaillé lors d'un épisode climatique humide.



Lousséké Njili

Affluent de la Nambouli

Figure 41.- Granulométrie des sables : différences sols-alluvions. Coupes topographiques schématiques

Tableau XV.- Valeur des paramètres.

Echantillon	Profondeur (cm)	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Hé
<u>Njili</u>					
- Lousséké	130	0,310	0,210	0,140	0,56
- Alluvions	Fond rivière	0,200	0,140	0,120	0,32
<u>Affluent de la Nambouli</u>					
- Bordure rivière	30	0,355	0,260	0,185	0,46
- Alluvions	Fond rivière	0,360	0,280	0,210	0,36

Sur le plateau, mais c'était là plus prévisible, il n'y a également aucun tri entre les sols ferrallitiques et les podzols.

En raison de cette absence quasi totale de tri, nous pensons que les remaniements qui ont affecté ces sables sont, plutôt qu'à un colluvionnement plus ou moins continu consécutif à un ruissellement diffus, dûs à des glissements, des transports en masse (solifluxion) analogues, et peut-être en rapport avec les phénomènes invoqués par SAUTTER (1970) pour expliquer la morphologie et le fonctionnement des cirques.

Il s'agit donc, dans notre esprit, de phénomènes dont l'origine est à rechercher dans des pluies exceptionnelles, tombant sur des sols saturés, et qui obéissent aux trois caractéristiques suivantes : discontinuité dans l'espace, discontinuité dans le temps, rapidité et violence.

Seule cette hypothèse permet d'expliquer le recouvrement d'horizons A₁, actuellement enterrés (un ruissellement diffus aurait plutôt eu pour conséquence l'épaississement progressif de l'horizon), l'aspect parfois chaotique des niveaux archéologiques, l'absence de gradient de tri, la forme en glacis d'épandage de certains loussékés et leur relation apparente avec des cirques d'érosion (cf. Figure 13). Elle complète de nombreuses observations faisant état de tels phénomènes violents et discontinus : fonctionnement des vallées sèches (GUILLOT et PEYROT, 1979), des cirques (SAUTTER, 1970), des "torrents proluviaux" (De PLOEY, 1963).

B.- Age des remaniements

Il reste à relier ces phénomènes à des phases climatiques particulières. Les datations par le ¹⁴C de niveaux enfouis sont à cet égard de bons repères. On dispose à ce jour d'un nombre relativement important de datations en R.P. du Congo, et dans les régions limitrophes, réunies en catalogue par KOUYOUMONTZAKIS et al. (1984).

Pour les formations batéké et la Cuvette congolaise voisine, tous les résultats contribuent à individualiser deux séries de datations : la première intègre la durée du Kibangien, la deuxième le Njilien, et peut-être le Maluekien (De PLOEY, 1963 ; CAHEN et MOEYERSONS, 1977 ; DELIBRIAS et al., 1983). Les résultats que nous exposons au Chapitre IX s'inscrivent dans la même logique : les remaniements sont surtout fréquents pendant les périodes humides, et rares pendant les périodes plus sèches ; en particulier, le Léopoldvillien, à l'aridité marquée, est une période climatique où les remaniements sont exceptionnels.

Ces faits peuvent a priori surprendre : on se souviendra, en effet, que De PLOEY (1963) liait les "sables proluviaux" au Léopoldvillien. D'autres auteurs ont également tendance à relier les remaniements à des phases plus arides, parce que, pendant ces périodes, la couverture du sol est moindre, et les pluies supposées plus intenses (ainsi GIRESSSE et LANFRANCHI, 1984). Mais il s'agit d'une attitude "a priori", où les comparaisons avec un modèle d'aridité méditerranéenne et les idées de ERHART (Théorie de la biorhexistase, 1956) ont certainement joué un rôle non négligeable.

Cependant, des travaux récents, effectués en Côte d'Ivoire (ROOSE, 1977), ont montré que dans les régions intertropicales, où la pluviosité n'atteint jamais des intensités méditerranéennes et où la couverture au sol n'est jamais aussi faible (même certainement pendant les périodes semi-arides), c'est dans les sols saturés d'eau, lorsque le ruissellement peut l'emporter sur l'infiltration, que l'érosion est la plus importante.

Or, c'est bien évidemment pendant les périodes climatiques humides que ces conditions, jointes à quelques pluies exceptionnelles, sont le mieux réalisées. Il va de soi que, dans les sols sableux où l'infiltration est, par nature, importante, cette condition est indispensable. Les résultats des datations nous semblent donc logiques.

Au sein d'un même épisode climatique, les âges des remaniements sont très variés, ce qui concorde, à notre sens, avec l'aspect local de l'événement.

Une période paraît toutefois critique, ainsi que l'ont montré par exemple GIRESSÉ et al. (1982) : c'est le passage d'un épisode climatique sec, à une phase humide ; c'est en effet sur des sols encore peu protégés par la végétation que l'augmentation de la pluviosité, consécutive à la réhumidification, aura le plus d'effets.

Il en est ainsi du Kibangien, où le quintuplement de la sédimentation, au large du Congo vers 12 000 B.P., peut s'expliquer de cette manière. Il en est certainement ainsi, également, de la transition Maluekien-Njilien, pour laquelle le ^{14}C , qui atteint ses limites d'utilisation vers 38 000 ans, n'est malheureusement d'aucune utilité.

Événements ponctuels, la somme de ces remaniements n'en couvre pas moins toute l'étendue du pays Batéké. Il sont donc en ce sens, mais en ce sens seulement, généralisés.

CHAPITRE VIII

APPROCHE PÉDO-ARCHÉOLOGIQUE DES PHASES DE FORMATION DES PODZOLS

Le podzol de la concessions ORSTOM de Brazzaville (PZO), sur lequel porte cette analyse, s'est révélé être un site exceptionnel : la co-existence de phénomènes de remaniements des sols et d'une industrie préhistorique parfaitement en place y a permis de comprendre les grandes étapes de la podzolisation.

I.- DESCRIPTION DU SITE

A.- Géologie et géomorphologie

1.- Généralités

La concession ORSTOM s'étend (Figure 42) sur un plateau limité vers l'Ouest par le M'Filou, un affluent du Djoué, vers l'Est et le Sud par le "Malades du sommeil", ruisseau qui se jette dans le M'Filou. Vers le Nord, ce plateau se rattache à l'ancienne réserve forestière de la patte d'oie et à l'aéroport de Maya-Maya, situé lui-même au pied des collines sableuses.

Le podzol se trouve sur le côté Est de la concession, à la cote approximative de 300 mètres. Il y occupe une surface de quelques 25 ares (Carte n° 3 en annexe).

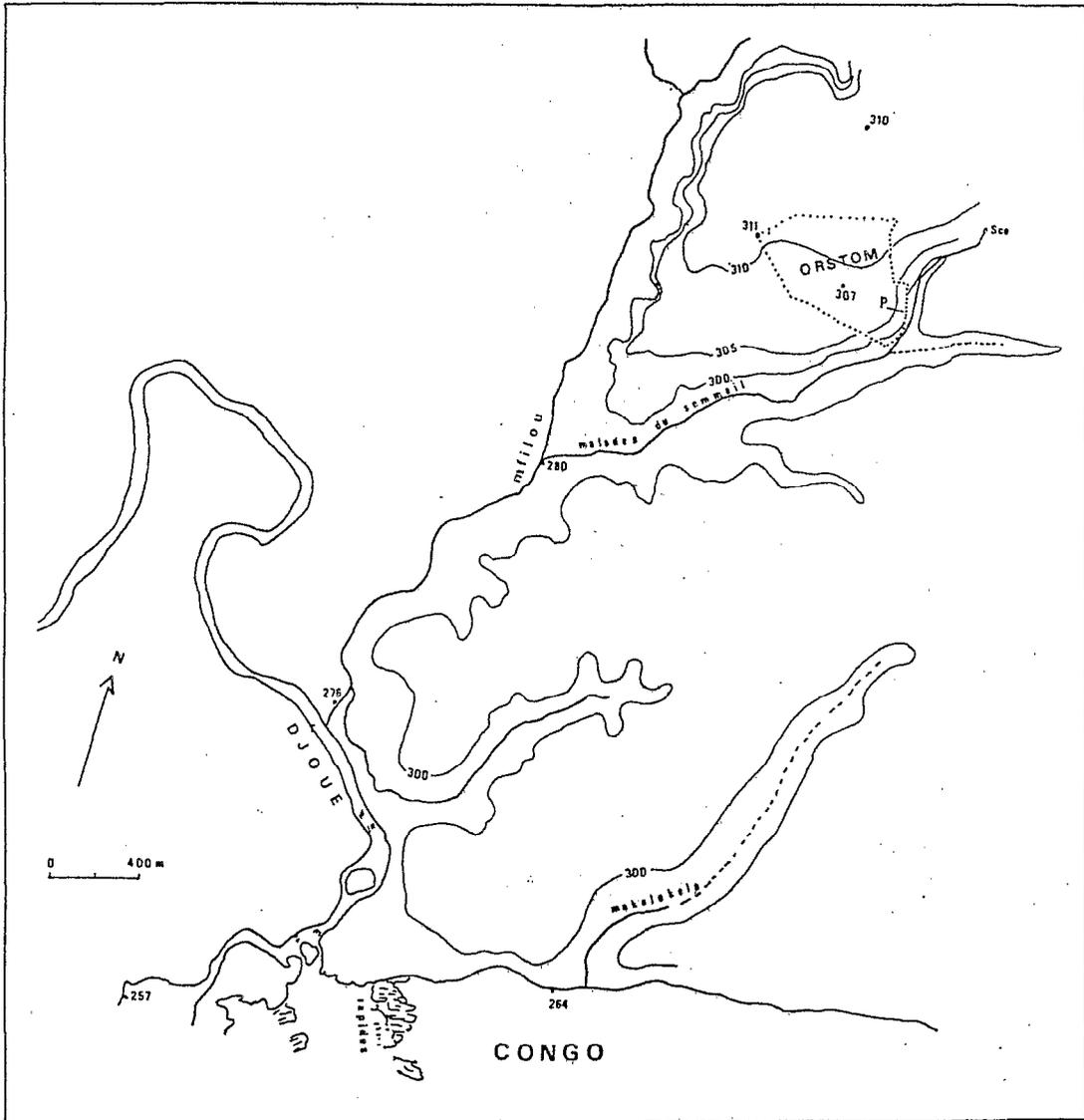


Figure 42.- Localisation du podzol de la Concession ORSTOM de Brazzaville.

2.- Géologie

Il est possible de distinguer trois niveaux géologiques différents (Figure 43) :

* Les grès du Stanley-Pool n'apparaissent qu'au fond des fosses de la cote 299. Ils se présentent sous l'aspect de grès tendres, blancs, poreux, peut-être kaoliniques. Très localement, en bordure d'une falaise, ils forment un surplomb silicifié sur 40 cm d'épaisseur et 1 m de large. Cette dalle est analogue à des niveaux du même type bien connus à Brazzaville (dalle silicifiée de Makélékélé : CHEVALLIER et al., 1972).

* Au sommet de ce niveau subhorizontal, un petit niveau d'une épaisseur maximale de 10 cm est constitué de graviers d'origine alluviale. La courbe granulométrique de ce niveau est bimodale (Figure 44), ce qui résulte d'un mélange avec les sables batéké. Les gravillons, très émoussés, ont un diamètre de 3 à 6 mm. La présence d'oolithes et de cherts du Niari permet d'envisager des apports provenant du Sud-Ouest du pays, liés à un anciens cours du Djoué. Ce niveau est induré et constitue la base d'un alios humique.

* Surmontant le tout, les sables batéké ont une épaisseur de 2 à 8 mètres suivant leur position topographique. Malgré la présence de grosses boules de grès polymorphes (mises en évidence lors de la construction récente du pavillon de botanique), ils sont à rapporter aux sables ocres Ba₂).

3.- Géomorphologie

Il est possible de distinguer trois surfaces structurales sur PZO (Figure 43) :

* La surface actuelle, forme de raccordement entre le plateau et le vallon du "Malades du sommeil". Elle recouvre et cache deux autres surfaces plus anciennes :

* La surface de l'alios, sur laquelle repose une abondante industrie préhistorique,

* Le sommet des grès du Stanley-Pool et le niveau alluvionnaire forment une troisième surface subhorizontale, certainement très ancienne, à laquelle se raccorde une falaise verticale, qui entaille le grès. A son sommet, on note la présence d'une dalle silicifiée, formant un léger surplomb. Au pied de cette falaise, des blocs de grès forment un éboulis, et marquent l'attaque du grès par la rivière et les agents atmosphériques. La hauteur de la falaise est d'au moins 4 mètres, pour autant qu'on puisse en juger, la présence de la nappe alimentant le "Malades du sommeil" empêchant toute investigation plus profonde.

Nous avons pu suivre son tracé sur environ 70 m (carte n° 3). Il longe grosso modo la vallée actuelle, avec des incurvations. Le dénivelé réel est difficile à évaluer, les blocs de grès éboulés empêchant la pénétration de la tarière. Aucun élément de surface ne permettait de supposer l'existence d'un tel relief, complètement fossilisé.

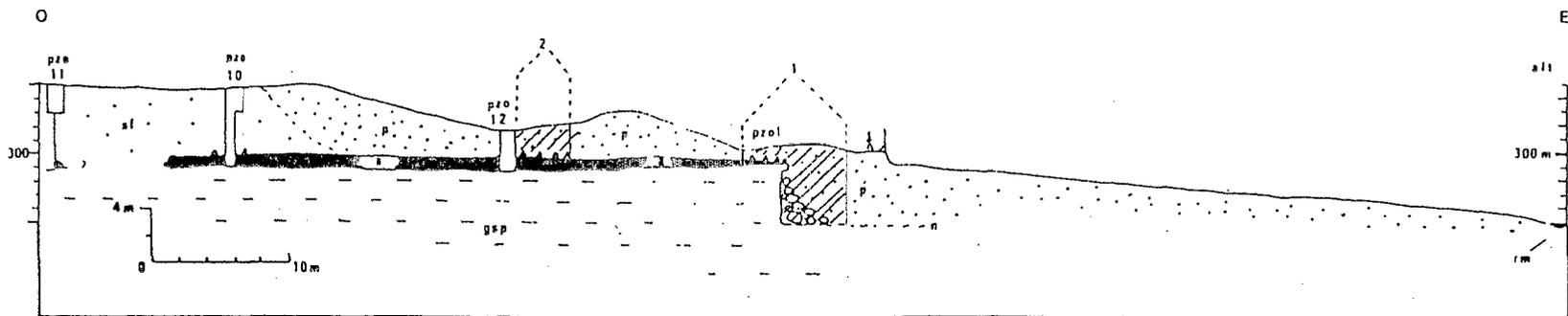


Figure 43.- Coupe du podzol ORSTOM (PZO) (d'après les levés topographiques R. BOSSENO, R. LANFRANCHI, D. SCHWARTZ).

sf = sol ferrallitique - p = sols podzolisés - a = alios - n = nappe d'eau
 gsp = grès du Stanley-Pool - rm = ruisseau "malades du sommeil"
 1 = fouille n° 1 - 2 = fouille n° 2 (en cours)
 ▲ = industrie préhistorique

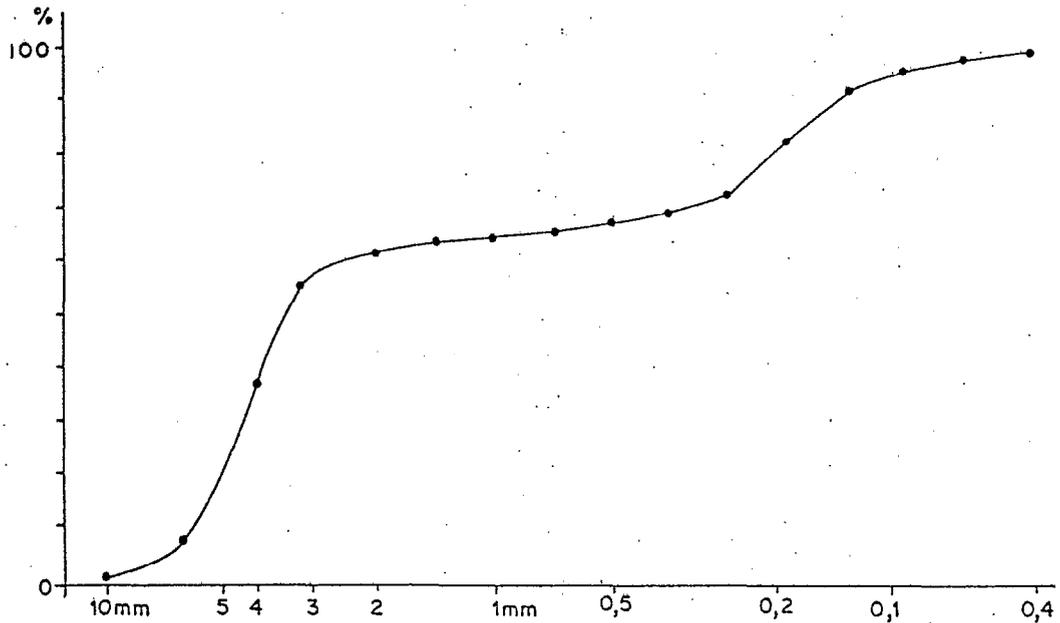


Figure 44.- Granulométrie des gravillons (PZ0). (d'après des données de A. PETRA)

B.- La couverture pédologique

1.- Les sols

De l'Ouest vers l'Est, on distingue trois types de sols sur la zone d'étude (Figure 43).

- a) Sol ferrallitique fortement désaturé, psammitique, dans sables batéké colluvionnés, sur paléosol.

Le profil type (PZ0 10, figure 45) a une épaisseur de près de 6 m. Sous un horizon A₁ de 20 cm, on trouve un A₂ appauvri de 80 cm d'épaisseur : puis de 100 à 470 cm, un horizon B₂ de couleur jaune ocre (10 YR 5/8), ne contenant que 2 % d'argile contre 5-8 % de limons, pour 0,6 % de fer. Il s'agit donc de sols très pauvres, mais ne présentant aucun caractère podzolique. Sous ce sol se trouve un alios humique, d'un mètre d'épaisseur, en surface duquel se trouve disposée une industrie pré-historique. Une fosse subsphérique de 80 cm de diamètre est certainement d'origine anthropique. La surface de l'alios est soulignée par un liseré rouille, enrichi en fer : les teneurs en fer total y sont de 3 % contre 0,6 % pour l'horizon B₂, et 0,1 % pour l'alios.

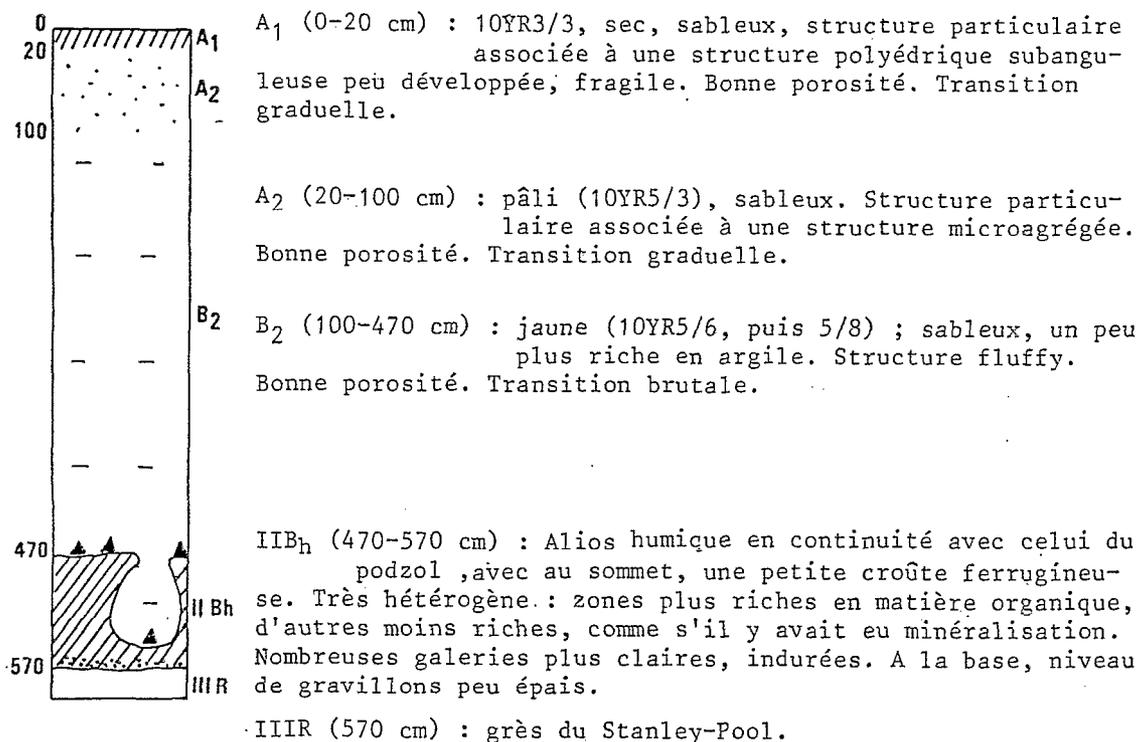


Figure 45.- Sol ferrallitique fortement désaturé, pasammitique, dans sables batéké colluvionnés, sur paléosol (PZO 10).

Remarques : Une fosse subsphérique de 80 cm de diamètre creusée dans l'aliost paraît être d'origine anthropique.
Présence d'une industrie préhistorique (▲)

b) Paléopodzols humiques, à B_h en bandes, faciès anthropique

Ces sols prolongent vers l'Est les précédents, jusqu'au rebord de la falaise. Il s'agit de podzols typiques des loussékés secs, mais la partie supérieure du profil a été tronquée lorsque le site a servi de carrière (Figure 46). L'épaisseur des horizons A₂ n'a donc ici aucune signification. La base du profil présente, sur quelques centimètres, une hydromorphie temporaire à la saison des pluies.

La transition avec les sols ferrallitiques se fait en quelques mètres, par l'intermédiaire de sols très pâlis, dont la morphologie rappelle celle des sols hydromorphes qu'on trouve en bordure des loussékés hydromorphes.

C'est dans ces sols qu'ont été effectuées les fouilles archéologiques : les troncatures effectuées lors de l'exploitation de la carrière réduisent en effet l'épaisseur des couches stériles.

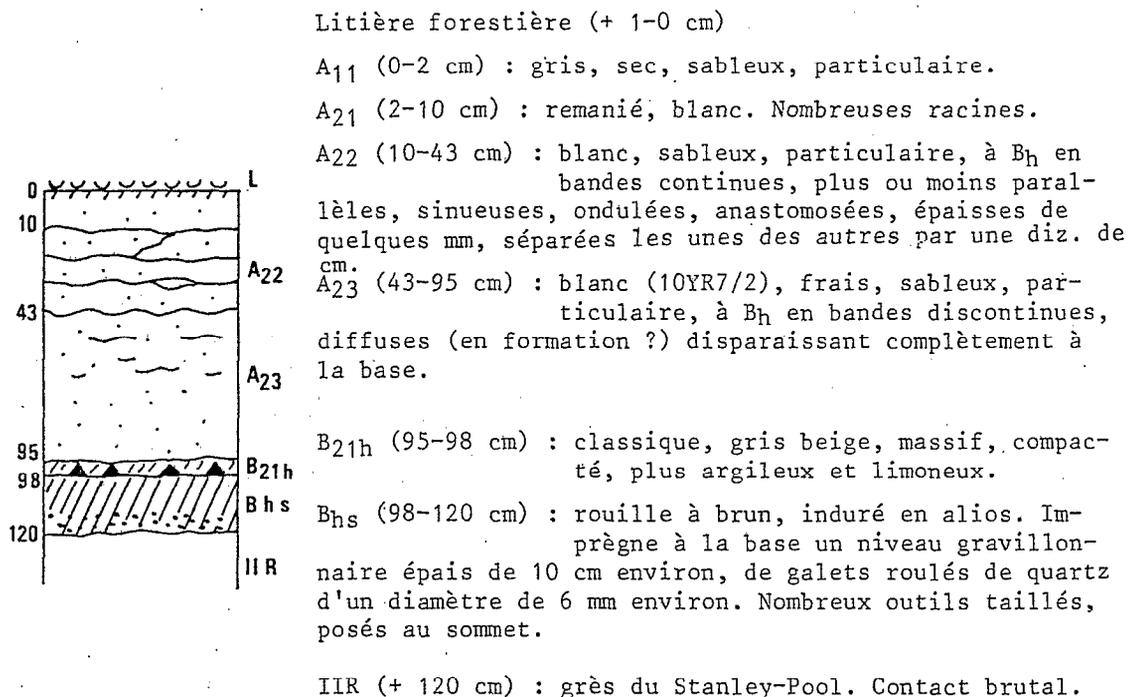


Figure 46.- Paléopodzol humique, à B_h en bandes, faciès anthropique (PZO 1)
(▲ : outils préhistoriques).

c) Paléopodzols à B_h en bandes, faciès anthropique

Ils prolongent, vers l'Ouest, les précédents, dont ils se distinguent par l'absence d'alios et la plus grande épaisseur des A₂, qui présentent les mêmes distinctions que précédemment : un A₂₁ remanié, un A₂₂ à B_h en bandes régulières, continues, et un A₂₃ à B_h en bandes s'estompant très rapidement.

Note : Nous avons trouvé dans les A₂ de podzols, des cupules de couleur ocre jaune, d'un diamètre de 2 à 5 cm. Elles présentent une dépression importante à leur face supérieure et ont certainement une origine biologique (terriers ?). Elle ne semble pas avoir été décrites par ailleurs.

2.- Principales caractéristiques des horizons diagnostics

a) L'alios, caractères généraux

Cet horizon (y compris la base, constituée par les gravillons alluvionnaires) se trouve plaqué contre le grès du Stanley-Pool qui représente un niveau d'arrêt pour une nappe d'eau, et est ainsi peut-être, directement à l'origine de la podzolisation. Vers la falaise, il se termine en biseau à 50 cm-1 m du surplomb. Vers le plateau, il s'épaissit pour atteindre 1 mètre d'épaisseur. A l'état sec, il reste très induré.

Il présente de nombreuses diaclases, fissures et galeries (terriers ou traces de racines) plus claires que la matrice, mais également indurées. Les teneurs en matière organique sont relativement faibles pour un alios, de 1,5 à 5 %, les zones les plus sombres étant les plus riches. Il paraît plus homogène dans sa partie Est (PZO 1) que dans sa partie Ouest (PZO 10 et 12), plus épaisse.

b) Surface de l'alios

L'ouverture de fosses archéologiques a permis d'étudier la surface de l'alios. Si, à l'échelle du site (40 m), il est relativement plan, on trouve, à l'échelle décimétrique et métrique, une microtopographie très variée : formes mollement ondulées, mamelons et creux, rigoles et cuvettes, qui ont pu être creusées par l'eau, galeries isolées, creux assez profonds, d'où partent des galeries rayonnantes et que nous assimilons à des moules de pivots racinaires. La partie biseautée de l'alios est relativement plane.

c) Interface alios-horizons de recouvrements

Sous les sols ferrallitiques, l'interface est constituée par un niveau enrichi en fer, peu épais (2-3 cm), qui imprègne l'alios humique. Cette croûte est très irrégulière. Elle peut être absente, plus épaisse, voire pénétrer à l'intérieur de l'alios à la faveur des fissures qu'il présente. Il s'agit là, sans doute, de fer mobilisé dans le B₂, et qui précipite à ce niveau à la faveur de contrastes saisonniers du pédoclimat. Sous les A₂ de podzols, l'interface est constituée par le classique horizon B_{21h}.

d) L'horizon B_{21h}

Cet horizon n'apparaît donc pas lié à l'alios. Non seulement il est absent à l'interface sol ferrallitique-alios, mais on le rencontre reposant directement sur le grès en bordure de falaise, là où il n'y a pas d'alios (Figure 47), ainsi que sur certains blocs de grès, qui constituent l'éboulis du pied de la falaise.

D'autre part, cet horizon recouvre l'industrie lithique présente à la surface de l'alios. Les outils protègent par endroit l'alios d'un contact direct avec l'horizon B_{21h}. Parfois, on a des outils ou des éclats, qui ne reposent pas directement sur l'alios, mais sur une couche peu épaisse (quelques cm) de sables blancs de l'horizon A₂. Dans ce cas, la limite inférieure de l'horizon B_{21h} est marquée par la face supérieure de la pièce qui a protégé les sables sous-jacents d'une imprégnation (Figure 48).

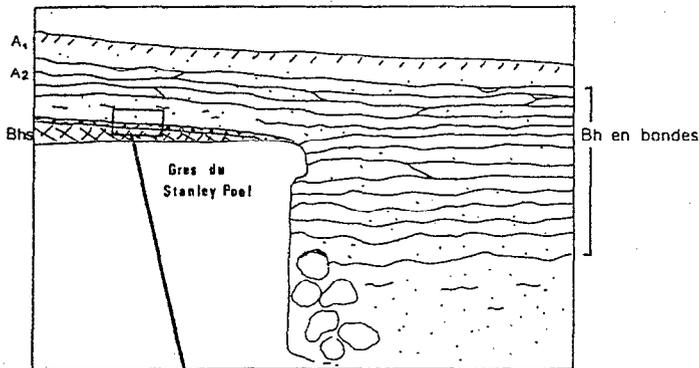


Figure 47.- Bh en bandes

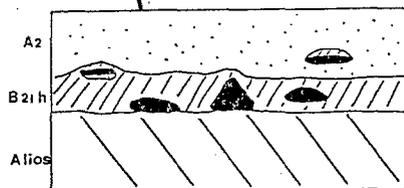


Figure 48.- Position des outils au sommet de l'aliôs.

C.- Anthropisation du site

1.- Pendant la Préhistoire

Une industrie très riche et abondante a été découverte à la surface de l'aliôs. Il n'est pas encore possible de la caractériser très précisément, la collecte des pièces et leur analyse typologique n'étant pas achevée.

Cependant, son aspect permet de la rattacher à du Tshitoliën ancien, voir à du Lupembo-tshitoliën, ce qui la situe approximativement vers 12 000-9 000 B.P. Des charbons de bois, trouvés dans les horizons A₂, au-dessus de cette industrie, et datés à 7 400 B.P. (Gif 6504) confirment cette ancienneté.

La matière première est essentiellement du grès polymorphe, mais quelques éclats sont également constitués du grès silicifié qui constitue le surplomb de la falaise. Cette dalle a pu servir de matière première ; des traces assimilables à des enlèvements de matière sont en effet visibles sur le rebord de la falaise (LANFRANCHI, communication orale).

L'état actuel des fouilles permet d'affirmer qu'il s'agit d'une industrie *in situ*, parfaitement conservée en place. C'est là le seul site de cette nature pour toute l'Afrique Centrale. Il devrait permettre de caractériser enfin de façon précise un type d'outillage propre à cette région, mais jusqu'à présent provenant de sites plus ou moins perturbés.

La fosse découverte au fond de PZO 10 (Figure 45) contenait également de l'industrie préhistorique. Certainement anthropique, elle a vraisemblablement été creusée par les populations qui sont à l'origine des divers restes récoltés (voir également Chapitre III).

2.- L'anthropisation récente

* Le podzol a servi de carrière à une période indéterminée, peut-être pour la construction des cases et des laboratoires de l'ORSTOM. Les horizons supérieurs sont donc tronqués et perturbés sur une certaine épaisseur. Les horizons A₂ en place sont cependant faciles à reconnaître : ce sont ceux où les B_h en bandes ne sont pas perturbés où l'on ne rencontre pas de déchets récents.

* La végétation actuelle est une végétation totalement anthropique. Il s'agit d'une forêt secondaire jeune (30-35 ans), liée, comme le montre l'examen des photographies aériennes, à la rapide transformation d'une végétation de savane arborée sur une parcelle mise en quelque sorte en défens (voir Chapitre III).

II.- RECONSTITUTION DE DIFFERENTES PHASES PEDOGENETIQUES

A. - Un alios mis à nu

Des arguments de nature et de valeur très différents prouvent que l'alios a été, à un moment donné de son histoire, une surface de sol recouverte ultérieurement par des apports latéraux de matériau.

1.- Arguments fondés sur l'observation

* L'épaisseur du recouvrement, près de 5 mètres par endroits, peut difficilement s'expliquer par un remaniement biologique.

* La présence, parmi l'industrie, de blocs provenant de la dalle silicifiée ne peut s'expliquer que si l'ensemble alios-falaise a été décapé.

* L'homogénéité de l'industrie préhistorique, le fait qu'elle est visiblement en place, supposent des perturbations peu importantes lors de la mise en place du niveau de recouvrement, donc plutôt des apports latéraux de matière qu'une descente relative de l'outillage au sein des sables.

* Enfin et surtout, le recouvrement d'un alios humique par un sol ferrallitique ne peut s'expliquer que par des transferts latéraux de matières solides.

2.- Arguments analytiques

Nous avons complété ces observations par des analyses, dont l'une (teneur en phosphore) est déterminante.

* Le fractionnement humique de l'aliôs a permis de mettre en évidence des différences assez importantes avec les résultats habituels. En effet, si la base de l'aliôs, avec 8 % seulement de matière organique non extractible au pyrophosphate, est typique des aliôs des loussékés (Chap. IV), la partie sommitale, avec 45 % de carbone non extractible au pyrophosphate, s'en distingue nettement. Une telle différence ne peut s'expliquer que par des phénomènes de contamination, ou par une transformation de la matière organique d'un aliôs après sa mise en surface.

* L'analyse des teneurs en phosphore apporte des résultats extrêmement significatifs. On sait que des concentrations exceptionnelles sont un excellent indice d'enrichissement par voie biologique, et plus particulièrement d'occupation humaine prolongée. (on rappellera que l'horizon diagnostique de surface *anthropique* de la classification américaine (USDA, 1960) est défini par sa teneur élevée en matière organique et par un taux de phosphore supérieur à 250 ppm).

Ainsi, à Brazzaville C. LANFRANCHI (1980) a mis en évidence des taux de phosphore 20 fois supérieurs à la moyenne des sols de la région sur deux profils, où une présence humaine était attestée par deux niveaux archéologiques.

Nous avons comparé les taux de phosphore de PZO avec ceux de Gangalingolo, ainsi qu'avec les rares références bibliographiques que nous avons trouvées : les analyses de phosphore sont en effet assez rares dans les podzols, pour la simple raison qu'on les pratique généralement comme diagnostic de fertilité.

Dans les podzols, on note souvent un enrichissement en phosphore des horizons d'accumulation humique. NYS. (1975) a ainsi mis en évidence, en se servant des coefficients de redistribution définis par SOUCHIER (1971), des enrichissements relatifs de 2,7 pour le phosphore total, et 8,4 pour le phosphore assimilable, dans des B_h de podzols du Massif Central.

Le phosphore est piégé par l'aluminium des aliôs. On sait en effet (BLANCHET, 1959 ; CONESA et al., 1979 ; BOYER, 1982) que l'aluminium et le phosphore forment des complexes très stables. C'est la raison pour laquelle nous avons analysé le profil PZO 10, dont les teneurs plus élevées en aluminium sur toute son épaisseur freinent ou empêchent la migration du phosphore. Il apparaît (Tableau XVI) que l'enrichissement relatif de l'aliôs de PZO est sans commune mesure avec ceux observés dans les références bibliographiques, ou même mesurés à Gangalingolo. Il sont 20 fois plus élevés que les taux déjà importants du B₂ de PZO 10, 50 à 200 fois plus élevés que ceux du podzol de Gangalingolo, 40 fois supérieurs aux teneurs moyennes des sols ferrallitiques de la région de Brazzaville.

En valeur absolue, des taux de phosphore supérieurs à 1 % sont exceptionnels dans les sols du Congo. Ces chiffres prouvent, de façon indiscutable, un enrichissement, dont l'origine ne peut être qu'anthropique.

Tableau XVI.- Comparaison des teneurs en phosphore de différents podzols.

Echantillons	Horizons	Profondeur	P ₂ O ₅ ‰	Références
<u>Congo</u>				
PZO 10-5	B ₂ (ferral.)	250	0,321	
PZO 10-2	B ₂ (ferral.)	410	0,55	
PZO 10-4	B ₂ (ferral.)	550*	1,121	
PZO 10-3	Alios humique	500	12,366	
PZO 10-6	Alios humique	550	10,08	
GASC 1-1	A ₁ (Podz.)	0- 15	0,046	
GASC 1-5	A ₂ (Podz.)	70	-	
GASC 1-10	Alios humique	120	0,046	
GASC 1-13	Alios humique	200	0,344	
GASC 1-16	Alios humique	260	0,252	
Teneur moyenne des sols de la région :			0,3	
<u>Biffontaine (Vosges)</u>				
	A ₁		0,62	BOUBAKER (1983)
	B _h		0,81	
	B _s		0,74	
<u>Plateau de Millevaches</u>				
	A ₁₁	0- 5	17,7	NYS (1975)
	A ₁ B _h	15-25	0,11 13,0	
	B _h B _s	40-50	0,07 45,0	
	BC	55-60	2,75 29,2	
	C	70-80	1,25 12,0 0,77	
<u>Nouvelle-Guinée</u>				
	A ₁		0,9	HARDON (1936) in : KLINGE (1968)
	A ₂		0,7	
	B ₁		0,6	
	B ₂ C		1,2	
<u>Amazonie</u>				
	A ₁	0- 10	0,2	SOMBROEK (1966) in : KLINGE (1968)
	A ₂	10- 45	0,2	
	B ₁ h	45- 60	0,2	
	B ₂ 1h	60- 80	0,3	
	B ₂ 2h	80-110	0,3	
	B ₃	110-150	0,3	

* Fond de la fosse d'origine anthropique.
Les chiffres en italiques indiquent les taux de phosphore assimilable.

3.- Un cas non isolé

Ainsi donc, l'aliol de PZO a été, à un moment donné, une surface de sol. Les aliols décapés de cette manière ne sont certes pas fréquents, mais celui de PZO n'est pas un cas unique.

A Gangalingolo, l'aliol est décapé sur quelques dizaines de mètres carrés, en bordure de la Loa (photo en annexe). L'endroit sert actuellement aux villageois à la baignade. L'analogie avec PZO est frappante : on peut y récolter des restes actuels d'occupation humaine. Que des apports colluviaux de faible amplitude viennent recouvrir cet horizon, que la Loa se déplace latéralement et s'enfonce (c'est d'ailleurs ce qui se passe, puisque cette rivière entaille l'aliol sur un mètre d'épaisseur), et on aura une situation tout à fait comparable à PZO.

D'autre part, le profil GASC 7, situé en bordure de marigot, a certainement été décapé jusqu'à la hauteur de l'aliol : on récolte à sa surface quelques éclats, et le sable y présente un léger tri, peut-être alluvial.

Dans la littérature, d'autres exemples ont été décrits. Ainsi, CAHEN et MORTELMANS (1973) décrivent une industrie tshitolienne posée sur un alios. BAUD (1954) a observé des blocs de grès polymorphes à la surface d'un autre alios. Il s'agit certainement d'une industrie préhistorique; on ne voit pas sans cela ce que feraient ces blocs à cet endroit. BAUD a également observé des alios à l'affleurement.

Les témoignages dont nous disposons ne sont certainement pas complets, la présence d'une industrie n'étant pas systématique, et ayant d'autre part pu échapper à l'observateur non averti; il faut en effet une certaine habitude pour reconnaître la nature préhistorique de certains de ces éléments grossiers.

B.- Les niveaux de recouvrement

Les horizons supérieurs A₂, B_h en bandes, B_{21h} n'ont pu se former qu'après la mise en place du matériau colluvial. C'est là que l'industrie préhistorique sert de marqueur: cette industrie datant au plus tôt du début du Kibangien, c'est à ce dernier épisode climatique qu'il faut rapporter les phases de pédogénèse qui ont abouti à individualiser A₂, B_{21h}, B_h en bandes.

1.- L'horizon A₂ est ici un curieux exemple d'horizon n'ayant aucun rapport avec l'alios humique sous-jacent. L'observation du profil PZO-10 montre que c'est un matériau sableux jaune, contenant près de 10 % de particules inférieures à 50 µm, qui a été transporté. L'épaisseur de l'horizon A₂, 4 mètres par endroit, est la preuve qu'au Kibangien la podzolisation a pu être importante, même en l'absence d'horizons d'accumulation. Cette formation en deux temps, d'un profil composé (DUCHAUFOR, 1977), a nécessité une relative pérennité des sites de podzolisation (Chapitre X).

2.- La formation de l'horizon B_{21h} est intimement liée à celle de l'horizon A₂, comme le prouve sa répartition exclusive à l'aplomb de l'horizon éluvial. On a vu (Chapitre VI) qu'il résulte, pour partie, du "lavage" des limons fins contenus dans le A₂, dont la migration (verticale ?) s'arrête en présence d'un support susceptible de les fixer. Ce fait paraît amplement conforté par l'observation du mode de répartition de l'industrie préhistorique dans l'horizon (sous l'horizon) B_{21h} (Figure 48).

Les loussékés secs étant d'anciens loussékés hydromorphes placés en meilleures conditions de drainage par enfoncement des niveaux de base, et cet horizon étant systématiquement présent dans les podzols de nappe, il est permis de supposer qu'il s'est formé en phase hydromorphe. Il serait donc, dans cette éventualité, au moins dans les paléopodzols de nappe, également un horizon relique.

3.- Les B_h en bandes semblent s'être formés en milieu drainé: en effet, on ne les rencontre (Chapitre V) que dans les loussékés secs. De même, en Europe, on les rencontre fréquemment dans des podzols drainés (TOUTAIN et GUILLET, communication personnelle). Dans les milieux tropicaux, FLEXOR et al. (1975) ont décrit de telles accumulations dans un podzol

drainé du Brésil, et LENEUF et OCHS (1956) dans un podzol à hydromorphie de profondeur de Côte d'Ivoire, mais dans la partie non hydromorphe du podzol.

Nous relient donc ces B_h en bandes à une accumulation résiduelle, en milieu drainé déjà podzolisé.

III.- CHRONOLOGIE DE LA MISE EN PLACE DES MATERIAUX ET DE LA PEDOGENESE

A.- Chronologie relative

Il est possible, en ordonnant ces observations, de reconstituer la chronologie des différentes phases de podzolisation et de formation du paysage.

Un fait est toutefois difficile à replacer dans cette chronologie : c'est la formation de la falaise. On peut, en effet, tout aussi bien imaginer une falaise ancienne, liée à la paléosurface formée par le grès, qu'une formation de cette falaise lors du décapage de l'aliôs. Cependant, divers éléments rendent la première hypothèse plus plausible : l'aliôs se terminant en biseau à une distance de 0,5 m à 1 m de la falaise, et sans lien apparent avec celle-ci, absence de blocs d'aliôs dans l'éboulis, absence de l'industrie au pied de la falaise et dans la partie inférieure de l'horizon A_2 située à l'est du rebord, ce qui semble indiquer qu'elle n'a jamais été complètement décapée lors de l'occupation humaine. C'est l'hypothèse que nous retiendrons pour la chronologie que nous retraçons.

Les différentes phases que nous pouvons reconstituer sont les suivantes.

1.- Des épisodes anciens

Sur une paléosurface, constituée par le sommet du grès du Stanley-Pool et (certainement) par la falaise, viennent se déposer des graviers d'origine alluviale. Leur taille et leur position topographique évoquent des débordements épisodiques d'une rivière à compétence bien plus élevée que le ruisseau actuel, tandis que la présence de cherts et d'oolithes du Niari permettent d'envisager une provenance relativement lointaine du Sud-Ouest du pays. Il est possible, sans pouvoir l'affirmer avec certitude, que ces dépôts soient à relier avec un ancien réseau du Djoué.

Des apports de sables batéké, provenant de l'arrière pays brazzavillois, viennent recouvrir cette surface ancienne et les dépôts alluviaux. C'est le matériau à partir duquel se formera le premier podzol. S'agit-il de remaniements locaux, ou de mouvements plus amples de dépôt de matériaux à l'échelle régionale ? Aucun élément ne permet de répondre à cette question.

2.- Une première phase de podzolisation

Elle se traduit par la formation d'un podzol d'extension inconnue, mais plus importante que les sables blancs actuels. Seul nous en est conservé l'aliôs, formé au niveau d'une zone de battement de nappe (ce qui semble indiquer que la rivière était légèrement en contrebas, donc que la falaise existait bien), dont le niveau d'arrêt est représenté par le grès du Stanley-Pool.

3.- Des phases de remaniement

Les horizons sus-jacents à l'aliôs sont décapés, de même qu'une partie de la falaise, comme l'attestent les traces d'occupation humaine, qui a suivi cet épisode. Son induration a permis la conservation de l'aliôs.

Des apports de sables batéké, dont le classement évoque un transport sans tri, donc brutal et à faible distance, viennent recouvrir le site. Ces apports se sont faits à partir de matériau non podzolisés, comme le prouve la morphologie du profil PZO-10 (Figure 45).

4.- De nouvelles phases de pédogénèse

Une première phase, hydromorphe, aboutit à la reconstitution des horizons A₂ et à la formation de l'horizon B_{21h}. La transition avec les sols ferrallitiques se fait en quelques mètres, par l'intermédiaire de sols hydromorphes.

Une deuxième phase a lieu en milieu drainé, après assèchement du podzol. Elle aboutit à la formation des B_h en bandes.

B.- Intégration dans la chronologie quaternaire, du Stanley-Pool

A ce stade de la réflexion, il est encore difficile de préciser la place de ces éléments dans la chronologie quaternaire du Stanley-Pool ; c'est l'objet du chapitre suivant. Les seules observations de terrain, jointes à des comparaisons bibliographiques, permettent cependant d'avancer un certain nombre d'hypothèses.

Deux facteurs peuvent en effet servir de marqueurs : l'industrie préhistorique et l'aliôs. L'occupation humaine caractérise en effet le début du Kibangien : le recouvrement de l'aliôs et la podzolisation qui a suivi, sont à mettre à l'actif de cette période.

En ce qui concerne l'aliôs, il existait déjà en l'état actuel d'induration au début du Kibangien, où il servait de surface de sol. Sa formation n'a pu s'effectuer au Léopoldvillien, période à l'aridité trop marquée. A l'autre bout de la chaîne, la comparaison avec les terrasses du Stanley-Pool

montre que les podzols se sont, dans la proche région de Brazzaville, développés sur des niveaux de base qui se sont individualisés en tant que formes géomorphologiques au Maluekien, et que la pédogénèse qui s'y est développée est donc plus récente. Ceci est confirmé par des observations faites par CABU (1937), qui a mis en évidence dans un podzol de la rive gauche du Congo, en plein Kinshasa actuel, une industrie sangoenne évoluée - datant donc d'environ 40 000 ans - répartie en trois couches, deux dans l'aliôs, et la troisième dans l'horizon A₂. Ces faits semblent donc bien signifier que la formation de l'aliôs s'est faite au Njilien.

A partir de ces deux repères chronologiques, il est donc possible d'insérer la plupart des éléments dans la stratigraphie quaternaire du Stanley-Pool (Tableau XVII) :

Tableau XVII.- La chronologie du PZO dans le quaternaire du Stanley-Pool

Chronologie relative	Correspondance	
Surface ancienne	?	
Dépôt de gravillons	Maluekien	
Recouvrement sables	Renversement Maluekien-Njilien	≈ 40 000 ?
Formation podzols	Njilien	≈ 30 000 ?
Décapage aliôs	fin Njilien à début Kibangien	
Installation humaine	début Kibangien	≈ 12 000
Recouvrement	début Kibangien	
Podzolisation hydromorphe	1ère partie Kibangien	
Podzolisation milieu drainé	2ème partie Kibangien	≈ 3 000 ?

* S'il est impossible de dater la surface ancienne et la falaise, le dépôt de gravillons est certainement lié au Maluekien, période relativement plus sèche et plus contrastée que le Njilien, mais dont le degré d'aridité réel est inconnu. On a du mal à imaginer que ce dépôt ait pu se conserver s'il n'avait précédé de peu le recouvrement de sables à partir desquels s'est formé le podzol.

* Le premier recouvrement sableux a également pu avoir lieu au Maluekien, mais il paraît plus vraisemblable de l'envisager au renversement climatique Maluekien-Njilien ; ces inversions sont en effet toujours des périodes charnières critiques, où de tels événements sont plus fréquents.

* La formation de l'aliôs et du podzol est, on l'a vu, liée au Njilien.

* Aucun élément ne permet, par contre, de dater son décapage. Celui-ci a pu avoir lieu de la fin du Njilien jusqu'au début du Kibangien. Il est toutefois très possible que les événements décapage-occupation humaine-recouvrement aient été très proches dans le temps, et à relier au renversement climatique Léopoldvillien-Kibangien.

* La podzolisation hydromorphe est à mettre en liaison avec la première partie du Kibangien, plus humide que le climat actuel, avec un niveau de base qui a peu changé depuis le Njilien, et qui est peut-être

même légèrement remonté suite au colmatage partiel du vallon par les apports de sables batéké.

* La podzolisation en milieu drainé (formation des B_h en bandes) est à mettre en relation avec la seconde partie du Kibangien. Elle a été favorisée par deux facteurs : (1) l'enfoncement du niveau de base local dans les sables, résultant de l'enfoncement du niveau de base général climatique (creusement en période humide) a augmenté le drainage externe du podzol ; (2) le relatif assèchement du climat depuis 3 000 ans (GIRESSE et LANFRANCHI, 1984) responsable d'une baisse des précipitations.

IX.- CONCLUSION

En conclusion, nous voudrions brièvement rappeler deux points qui nous paraissent importants :

- L'approche pédoarchéologique du site PZO a mis en évidence un cas original de totale indépendance génétique entre les horizons d'accumulation B_h aliotiques et les horizons éluviaux A_2 . La durée de la podzolisation (40 000 ans) rend certes inévitable l'existence de remaniements, mais la superposition de différentes phases de pédogénèse n'a pu être possible que grâce à une relative stabilité du paysage, même si des "retouches" les ont affectés (Chapitre X).

- Les résultats que nous avons obtenus illustrent l'intérêt d'une démarche associant préhistoire et pédologie. La multiplication des observations à une échelle peu usuelle en pédologie, la prise en compte de facteurs que le pédologue n'appréhende pas toujours (charbons de bois, industrie préhistorique), et, réciproquement, le raisonnement pédogénétique, alors que les préhistoriens voient le sol comme une succession de couches et de surfaces, se sont avérés particulièrement fructueux dans cette échelle de temps des derniers épisodes quaternaires, qui recoupe des périodes climatiques assez contrastées pour qu'elles aient marqué le sol et le paysage de leurs empreintes respectives, et suffisamment récentes pour que ces marques se soient conservées.

CHAPITRE IX

APPROCHE ANALYTIQUE DES PALÉOENVIRONNEMENTS

Cette étude porte essentiellement sur le lousséké de Gangalingolo, où une riche flore arborée fossile a été échantillonnée. La détermination des espèces et la mesure des $\delta^{13}\text{C}$ des matières organiques de l'aliôs ont permis d'appréhender l'écologie de la podzolisation, tandis que les datations par le ^{14}C ont mis en évidence les corrélations entre les phases de podzolisation et la stratigraphie du Quaternaire.

I.- ETUDES PALEOBOTANQUES

A.- Occurrence de végétaux fossiles dans les aliôs

1.- Abondance

Des indices, ou des traces sûres, de racines d'essences arborées ont été relevés dans diverses zones des formations batéké (Figure 49). Cependant, si les découvertes recouvrent des zones variées, elles n'en sont pas moins rares. Diverses raisons permettent d'expliquer ceci :

- L'étude des podzols est encore très fragmentaire, et de nombreuses régions restent à prospecter.

- les difficultés matérielles d'observation : matériau bouillant ou fluant, dureté de l'aliôs, épaisseur des horizons A₂, ... ont pour résultat que très peu d'aliôs ont été décrits. En particulier, le lousséké de

Gangalingolo est le seul où la densité des observations soit si importante. Ailleurs, la présence de racines a pu échapper à l'observation.

- les conditions pédoclimatiques n'ont pas toujours permis la conservation de ces restes. En particulier, les loussékés secs paraissent, a priori, peu favorables à la conservation de végétaux.

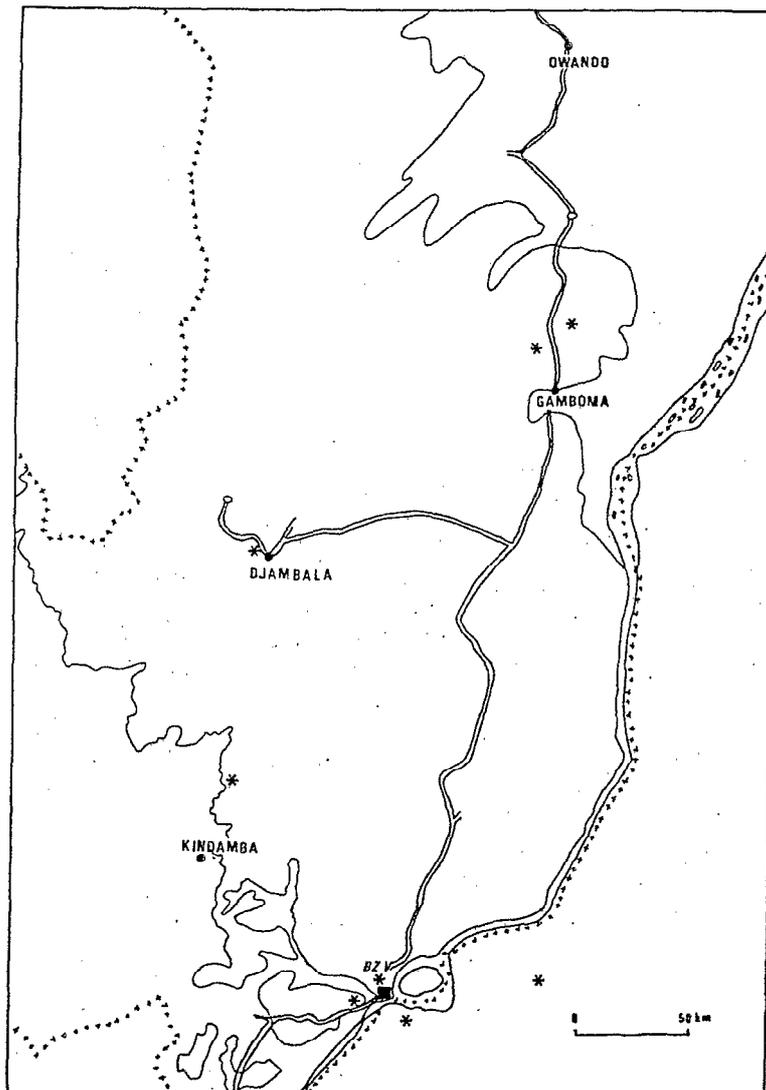


Figure 49.- Occurrence des fossiles végétaux dans les alios.

2.- Localisation des observations

a) Collines drainées vers la Cuvette

Les prospections menées pour l'établissement de la carte pédologique de Gamboma (LE COCQ et BOSSENO, 1983) ont révélé un grand nombre de restes végétaux déterminés par DECHAMPS (inédit) et datés (DELIBRIAS et al., 1983). Ils proviennent, pour la plupart, d'horizons enfouis ou de dépôts de fonds de marécages, abusivement appelés alios, comme le prouve le type de restes végétaux : branches, fruits, feuilles, graines, et les caractéristiques des affleurements. Un des échantillons décrits (GAL 2246, racines in situ ; notes inédites de LE COCQ ; DELIBRIAS et al., 1983) provient cependant d'un alios de podzol.

La plupart des échantillons pris dans des horizons organiques sont datés de 31 000 à plus de 35 000 B.P. L'étude anatomique a montré qu'il s'agissait d'espèces de forêts claires ou de savanes arborées.

Au cours de nos propres prospections, nous avons également pu observer, près de Gamboma, des racines d'essences ligneuses in situ, dans un alios de podzol. Elles n'ont pu être analysées pour l'instant.

b) Collines drainées vers le Stanley-Pool

DE BOISSEZON et GRAS (1970) signalent "des morceaux de bois, moignons de racines et morceaux de résine" dans le B_h localement induit d'un podzol situé au Sud de Vinza (Nord de Kindamba).

A Brazzaville, nous avons rapporté à des traces de pivots racinaires, certaines empreintes en creux de l'alios de PZO (Chapitre VIII), site sur lequel le décapage de l'alios n'a pas permis la conservation de la végétation.

c) Plateaux

Nous avons pu observer quelques radicelles, ainsi que des galeries ayant pu être creusées par des racines dans des alios, mais jamais de racines de taille centimétrique ou plus grandes.

Quelques jours avant notre départ du Congo, des hydrogéologues du BRGM nous ont signalé la présence de racines in situ dans un alios, près de Djambala.

d) Zaïre

LEPERSONNE (1937) décrit, à Léopoldville (Kinshasa), un alios humifère, épais de 2 m, et contenant à son sommet des "restes de troncs d'arbres, dont les racines traçantes, rayonnantes, s'enfoncent faiblement dans le grès et circonscrivent des cercles de plus d'un mètre de rayon". A la base de l'alios se trouvent encore des débris organiques, radicelles et "peut-être" nervures de feuilles. CABU (1937) a trouvé dans ce site des industries préhistoriques sangoennes, dont le degré d'évolution plaide en

faveur d'une mise en place des matériaux à la transition Njilien-Maluekien (vers 40 000 B.P.).

Sur le plateau des Batéké, prolongement zaïrois des plateaux congolais, à une soixantaine de kilomètres de Kinshasa, CAHEN et MORTELMANS (1973) signalent également des traces de racines dans les alios.

Ainsi donc, des restes végétaux in situ ont pu être décrits, à défaut d'être analysés, dans diverses zones des formations batéké. La plupart des trouvailles proviennent du Stanley-Pool, région, il est vrai, plus activement prospectée.

B.- Etude des fossiles végétaux de Gangalingolo

1.- Morphologie du gisement

Les restes observés sont ceux de racines et de pivots racinaires. Sur le terrain, deux faits sont frappants :

- l'abondance des racines : pratiquement toutes les fosses creusées dans les podzols, et une tarière sur deux, ont livré des échantillons d'une flore très homogène sur toute l'étendue du lousséké. Dans les fosses (1 à 2 m²), où leur densité apparaît parfois considérable, plusieurs kilos de matériel ont pu être à chaque fois récoltés.

- la bonne conservation des racines : leur état de fraîcheur est exceptionnel, vraisemblablement à mettre à l'actif de l'hydromorphie ambiante (l'alios n'est jamais complètement sec, même en saison sèche).

Les racines ont une couleur brun rosé à acajou. Elles sont généralement revêtues d'une écorce qui se détache facilement. Leur taille est variable : le plus gros pivot avait 5 cm de diamètre, mais nous avons également récolté des radicelles de quelques mm d'épaisseur. L'essentiel des racines se trouve dans les 30 cm supérieurs de l'alios, ou d'un B_{22h} localement non induré, mais de gros fragments ont pu être prélevés jusqu'à plus de 1 m de profondeur, et des radicelles descendent presque jusqu'à la base de l'alios. Leur limite supérieure est nette : il n'y en a pas dans l'horizon B_{21h}, qui surplombe et protège l'alios.

L'essentiel des racines traverse verticalement l'alios, preuve d'une végétation in situ. Il est également possible d'observer des réseaux de racines et radicelles qui suivent des plans subhorizontaux, correspondant à des zones de moindre résistance, entre des blocs d'alios déjà indurés. On a là, sans contestation possible, la végétation contemporaine de l'induration de l'alios : en effet, si ces réseaux plans attestent de l'existence de zones déjà indurées, les racines verticales traversant l'alios à l'emporte-pièce montrent que celui-ci devait être encore meuble. Il nous paraît en effet difficile d'admettre que ces racines aient pu s'enfoncer dans un alios aussi cimenté qu'actuellement.

2.- Détermination et caractéristiques des espèces

La détermination des espèces (Tableau XVIII) a été effectuée sur coupes anatomiques par R. DECHAMPS (Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique).

Tableau XVIII.- Détermination des espèces trouvées à Gangalingolo dans un alios de podzol.

Profil	Espèces
GASC 1	<i>Pterocarpus</i> cfr. <i>tinctorius</i> (racines) <i>Monopetalanthus microphyllus</i> (racines)
GASC 2	<i>Monopetalanthus microphyllus</i> (4 morceaux de racines)
GASC 4	indéterminable (racine ou écorce de racine)
GASC 7	<i>Grewia</i> sp. (branche ? racine ?)
GASC 9	<i>Monopetalanthus microphyllus</i> (branche ? ou morceau de tronc ?) <i>Monopetalanthus durandii</i> (3 morceaux de racines) <i>Monopetalanthus microphyllus</i> (2 morceaux de racines)
GASC 65	<i>Monopetalanthus letestui</i> (racine)
GASC 66	<i>Monopetalanthus heitzii</i> (racines)
GASC 83	<i>Monopetalanthus microphyllus</i> (branche ? racine ?) <i>Monopetalanthus letestui</i> (branche ? racine ?)
GASC 30	<i>Monopetalanthus microphyllus</i> (un tronc et deux racines)
GASC 600	<i>Monopetalanthus durandii</i> (racine)

On remarque la très nette prédominance du genre *Monopetalanthus*. Ce fait peut, a priori, paraître surprenant quand on connaît la diversité et l'hétérogénéité de la forêt tropicale, mais de tels peuplements ont pu être observés au Gabon (AUBREVILLE, 1970).

Un autre fait est la présence possible de quelques branches parmi ces racines. Il faudrait admettre, soit que localement l'alios a été mis à jour, soit que l'épaisseur des horizons A₂ était moins importante au moment de la formation et de l'induration de l'alios, soit qu'il y a eu intervention humaine, explications, il faut bien l'avouer, hypothétiques. Mais R. DECHAMPS (communication orale) admet que la distinction entre branches et racines n'est pas toujours aisée.

Le genre *Monopetalanthus* comprend 13 espèces de grands arbres de forêt primaire, et deux espèces ripicoles un peu plus petites. Ce sont des Césalpinacées.

- a) *Monopetalanthus heitzii* est un grand arbre spécifiquement gabonais. On le rencontre essentiellement dans le Nord-Ouest du pays, en bouquets de quelques pieds. Il a des contreforts minces, s'écartant loin du pied. Le bois est brun rosé, tendre, léger. Son diamètre peut atteindre 2 mètres (AUBREVILLE, 1970). C'est un arbre de forêt primaire (PELLEGRIN, 1948).
- b) *Monopetalanthus microphyllus*, le plus abondant des restes analysés, est un arbre atteignant 20 m de haut. C'est une espèce ripicole de l'Afrique Centrale, où elle a une distribution assez large. LEONARD (1952) précise que c'est une tropophyte des formations rivulaires marécageuses et sèches, et qu'on la trouve également en galerie forestière.
- c) *Monopetalanthus durandii* est un grand arbre pouvant atteindre 4 m de diamètre. Le tronc est droit, cylindrique. C'est un bois lourd, de densité 0,85 à 0,95. Il forme des peuplements purs, parfois importants, dans les Monts de Cristal gabonais. Il n'est pas signalé en dehors du Gabon (AUBREVILLE, 1970).
- d) *Monopetalanthus letestui* est un grand arbre pouvant atteindre de gros diamètres. Il se trouve en bouquet de quelques pieds en mélange avec d'autres *Monopetalanthus*. On le trouve au Gabon et au Rio Muni (partie continentale de la Guinée équatoriale) (AUBREVILLE, 1970). PELLEGRIN (1948) précise qu'il peut s'agir d'un arbuste et qu'on le trouve le long de l'Ogooué et au Cameroun.
- e) *Pterocarpus tinctorius* est un arbre de 12 à 20 m de haut. C'est une papilionacée, distribuée au Bas Congo et en Angola. Il en existe deux variétés :
- var. *odoratus* caractérise les forêts claires et les savanes. Au vu de ce qui précède, il ne semble pas qu'il puisse s'agir de celle-ci.
 - var. *chrysotrix* a un habitat très large : forêt remaniée ou non, emplacement de villages, galeries forestières, savane arborée, forêt claire, sur termitière (HAUMAN, 1954). C'est donc une espèce relativement ubiquiste, qui ne fournit pas de renseignements sur un type d'habitat.

3.- Interprétation écologique

En raison de l'hydromorphie nécessaire à la podzolisation en milieu équatorial, on pouvait s'attendre à trouver une végétation de forêt marécageuse. Il n'en est rien. Si on excepte *Monopetalanthus microphyllus*, assez ubiquiste (forêts de bordure de cours d'eau sèches et marécageuses), les autres espèces sont des essences de forêt primaire ombrophile ou mésophile, donc de milieu relativement bien drainé. Il paraît raisonnable d'envisager, en fonction des informations apportées par les différentes espèces, que le milieu où elles croissaient était une forêt-galerie primaire relativement sèche, s'étendant en bordure d'un cours d'eau ou d'une étendue marécageuse restant à déterminer.

Une réponse à cette apparente contradiction peut être la suivante. L'induration en alios des accumulations humiques est la conséquence de deux facteurs différents :

- * la présence de taux relativement élevés de matière organique,
- * un relatif assèchement du profil. En effet, la déshydratation partielle des profils, des grandes alternances humectation-dessiccation, favorisent la consolidation des gels organo-minéraux (DE CONINCK, 1980).
C'est une constatation que fait également RIGHI (1977) dans un milieu où l'hydromorphie est le seul facteur de différenciation des sols : c'est dans les profils où l'engorgement est le moins prononcé, que l'induration des horizons spodiques est le plus poussé. Cette induration contribue à fossiliser le milieu.

On peut dès lors faire l'hypothèse que l'induration des alios de loussés s'est effectuée après l'accumulation de l'essentiel des complexes organo-minéraux lors d'un relatif assèchement du climat, et que la végétation récoltée, contemporaine de cette induration, comme le montre la morphologie des racines, n'est pas celle, également forestière mais plus hydrophile, qui a présumé à la formation des accumulations humiques.

Les espèces caractérisent toutefois un climat encore très humide. Trois d'entre elles (*M. heitzii*, *M. durandii*, *M. Letestui*) sont des essences typiquement gabonaises, et plus particulièrement du Nord-Ouest du Gabon (Monts de Cristal), où la pluviosité varie de 1 800 mm à plus de 3 000 mm, avec toutefois une saison sèche de 3 à 3,5 mois.

4.- Comparaison avec la Cuvette congolaise

Les végétaux collectés à Gangalingolo datent du Njilien (cf. infra, III. de ce chapitre), et sont contemporains de restes provenant de la Cuvette congolaise (DELIBRIAS et al., 1983). Ils caractérisent des milieux très différents. En effet, la flore récoltée dans la Cuvette provient d'essences de forêts claires ou de savanes arborées (DECEAMPS, inédit, cité in : GIRESE et LANFRANCHI, 1984).

Pour expliquer ces différences, il convient d'envisager plusieurs hypothèses. GIRESE et LANFRANCHI (1984) estiment que la composition sableuse du matériau n'a jamais permis le développement de la forêt ombrophile. L'ensemble des résultats impliquerait également la permanence d'une saison sèche assez prononcée. En fait, la composition du matériau n'est pas suffisante, à elle seule, pour expliquer la présence ou l'absence de forêts. Les résultats obtenus à Gangalingolo en sont une preuve flagrante. De même, la saison sèche, si elle n'excède par 3 à 4 mois, n'a, à notre avis, qu'une importance secondaire : les grandes forêts du Chaillu et du Mayombe le prouvent amplement. D'autres facteurs, ou combinaisons de facteurs, doivent donc également intervenir.

D'autre part, rien ne prouve que les végétations du Sud et du Nord des formations batéké aient été si radicalement différentes. Dans les deux cas, il s'agit de trouvaillies stationnelles difficilement extrapolables. En effet, ce n'est pas parce que la forêt s'est développée sur la zone des podzols de Gangalingolo qu'il faut imaginer un manteau forestier continu sur le pays Batéké : il peut tout aussi bien s'agir de forêts-galeries, certes plus développées qu'actuellement en raison d'un climat plus humide, mais toujours stationnelles. De la même manière, il ne faut pas oublier que la

flore récoltée dans la Cuvette provient, pour la plupart des échantillons, d'accumulations de fonds de marécage, et qu'il ne s'agit donc pas d'une végétation in situ, mais quelque peu transportée.

Il est également possible, pour expliquer la différence de végétation entre les deux secteurs, de faire appel à des différences de pluviosité, liées à des déplacements de l'équateur climatique, suivant le schéma proposé par BERNARD (1962), qui oppose de part et d'autre de l'équateur, au sein d'une même phase climatique, des périodes plus ou moins humides, qui s'inversent régulièrement tous les 10 500 ans.

Ainsi, si la Cuvette congolaise est actuellement plus humide que le Stanley-Pool, c'est l'inverse qui aurait caractérisé le Njilien. Nous ne retiendrons cependant pas sa terminologie de displuvial et d'isopluvial. Il semble, en effet, pour peu que le climat actuel du Nord-Ouest du Gabon puisse servir de référence, que, à la fin du Njilien, l'existence d'une saison sèche soit attestée aussi bien dans la région de Brazzaville, alors plus humide, qu'en bordure de la Cuvette, plus sèche.

C.- Composition isotopique ^{13}C des matières organiques

1.- Méthodologie

L'utilisation des variations de la teneur en ^{13}C des végétaux et des humus est une technique qui commence à se répandre en pédologie.

Le principe de la mesure est le suivant : les plantes ont une teneur en ^{13}C qui varie en fonction du type de photosynthèse (DEINES, 1980, pour une revue bibliographique conséquente). Les plantes en C3 (cycle de CALVIN), comme les espèces forestières, présentent un taux de ^{13}C plus faible que les plantes en C4 (cycle de HATCH-SLACK), comme la plupart des Graminées tropicales. Les matières organiques des sols ont des caractéristiques très voisines de celles de la végétation qui leur a donné naissance.

On a donc procédé à l'analyse de différents alios en provenance de diverses zones des formations batéké. Les résultats ont été comparés à des témoins constitués par des essences végétales et par des humus typiques des steppes et savanes batéké.

La teneur en ^{13}C des échantillons est déterminée et comparée à celle du standard, un rostre de bélemnite fourni par le NBS des U.S.A. Le résultat est fourni sous la forme suivante :

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{R_{\text{éch.}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \times 1000 \quad \begin{array}{l} R = \text{rapport isotopique} \\ \text{Standard : PBD} \end{array}$$

Certaines mesures ont été doublées sur deux spectromètres différents. Elles sont extrêmement homogènes, en raison du broyage préalable très fin des échantillons avant analyse.

La détermination de la composition isotopique a été effectuée par le laboratoire de A. MARIOTTI, à l'Université Paris VII.

2.- Résultats

Les résultats sont exprimés sous forme synoptique (Tableau XIX).

a) Les témoins

Les principales espèces formant la steppe lousséké (*Loudetia simplex*, *Monocymbium ceresiiforme*, *Bulbostylis laniceps*) sont des espèces en C₄, tandis que les racines provenant de l'aliôs (*Monopetalanthus* sp.) ont un $\delta^{13}\text{C}$ typique des espèces forestières.

Les différences enregistrées sur les espèces végétales sont tout aussi nettes pour la matière organique qui compose les différents horizons A₁ servant de référence : les horizons A₁ de steppe et de savane, même arbustive, qui caractérisent de façon assez uniforme les formations Batéké, ont un $\delta^{13}\text{C}$ très différent des A₁ formés sous forêt. Ce fait est particulièrement important car on peut ainsi opposer sans ambiguïté, de façon dichotomique, les matières organiques des sols développés sur sables Batéké en fonction du type de végétation, forestière ou de savane, qui leur a donné naissance.

On remarquera que, lorsqu'une végétation du type C₃ remplace une végétation en C₄ (cas de la forêt secondaire de PZO, qui s'est substituée à une savane), ce remplacement demeure inscrit dans le sol sous forme d'un $\delta^{13}\text{C}$ intermédiaire, qui exprime le mélange de matières organiques provenant des deux types de végétation.

On notera enfin que le $\delta^{13}\text{C}$ de l'humus de steppe (- 13,35) est légèrement moins important que celui de la végétation qui lui a donné naissance (- 13,8 ; - 15,2). De telles variations ne sont pas toujours aisément explicables. Elles peuvent cependant provenir de différences de composition isotopique existant par exemple entre les racines (source essentielle de l'humus) et les parties aériennes de la plante (analysées), et ne remettent pas en cause la validité des résultats (MARIOTTI, communication personnelle).

b) Echantillons provenant de podzols

* Les échantillons de Gangalingolo (GASC) montrent très nettement que l'aliôs et l'horizon B_{21h} se sont formés sous une végétation de type forestier. Plus surprenante est la valeur relevée dans l'horizon A₂ (24,25), qui témoigne également d'une nette influence forestière. Ce résultat signifie que la matière organique solubilisée par la nappe dans les horizons A₁ (acides fulviques libres notamment), intégrant donc la composition isotopique ^{13}C de la steppe actuelle, n'a pratiquement aucune influence sur la composition de la matière organique contenue dans l'horizon A₂, laquelle semble ainsi provenir d'un vieux fond forestier hérité, tandis que les substances organiques dissoutes dans la nappe ne font que transiter dans l'horizon A₂.

* Les échantillons provenant de PZO offrent des résultats plus contrastés. En effet, si, là encore, l'aliôs paraît bien s'être formé sous couvert forestier, la matière organique de l'horizon B_{21h} et des B_h en bandes montre un $\delta^{13}\text{C}$ intermédiaire, ce qui traduit un mélange de matières provenant

de plantes en C3 et en C4. Ce mélange peut résulter d'une végétation comprenant des espèces des deux types C3-C4, mais plus vraisemblablement d'une succession dans le temps de deux végétations différentes : végétation forestière remplacée par un savane, ou l'inverse.

* Les autres échantillons d'aliros, provenant de la Cuvette (SCH 6) ou des plateaux (BOUL 4) sont également typiques d'un couvert végétal forestier. Les valeurs obtenues sur BOUL 4 sont légèrement plus faibles que les précédentes, mais cet échantillon a été prélevé à l'affleurement, ce qui a pu être source de contamination (voir également les résultats des ^{14}C).

Tableau XIX.- Mesure du $\delta^{13}\text{C}$ d'horizons de sols et de fragments végétaux.

N° échantillon	Localisation	Nature échantillon	$\delta^{13}\text{C}$
MC	Gangalingolo	Appareil végétatif de <i>Monocymbium cerasiiforme</i>	- 13,8
LS	Gangalingolo	Appareil végétatif de <i>Loudetia simplex</i>	- 15,2
BL	Gangalingolo	Appareil végétatif de <i>Bulbostylis laniceps</i>	- 16,5
GASC R	Gangalingolo	Racines de <i>Monopetalanthus</i> sp.	- 28,85 ; - 28,75
SCH 1	Djoumouna	A ₁ de forêt-galerie	- 26,6
SCH 5	Mayombe	A ₁ de forêt primaire	- 27,8
SCH 2	Région Brazzaville	A ₁ de savane à <i>Loudetia demoussi</i> et <i>Andropogon</i>	- 14,5
SCH 3	Région Brazzaville	A ₁ de savane arbustive	- 15,5
SCH 4	Région Brazzaville	A ₁ de savane à <i>Loudetia demoussi</i> et <i>Ctenium newtonii</i> , avec strate à <i>Landolphia lanceolata</i> assez dense	- 14,3
GASC 1-1	Gangalingolo	A ₁ de steppe à <i>Loudetia simplex</i> , <i>Monocymbium cerasiiforme</i> et <i>Bulbostylis laniceps</i>	- 13,35
GASC 1-2	Gangalingolo	A ₂ de podzol (z = 80 cm)	- 24,25
GASC 1-3	Gangalingolo	B _{21h}	- 25,15
GASC 1-a	Gangalingolo	Partie supérieure aliros humique	- 27,55 ; - 27,55
GASC 1-b	Gangalingolo	Partie médiane aliros humique	- 27,55 ; - 27,55
GASC 1-c	Gangalingolo	Partie inférieure aliros humique	- 27,45
PZO-a	Brazzaville	A ₁ forêt secondaire (35 ans)	- 20,65 ; - 20,65
PZO-b	Brazzaville	B _h en bandes	- 20,65
PZO-c	Brazzaville	B _{21h}	- 21,85
PZO-d	Brazzaville	Aliros humique	- 26,45 ; - 26,45
BOUL 4	Boulankio (plateaux)	Aliros humique	- 24,55 ; - 24,55
SCH 6	Cuvette congolaise	Aliros humique	- 27,7

3.- Conclusion

Ainsi donc, les alios des formations batéké se sont formés sous forêt. Ces résultats pouvaient sembler prévisibles, car on imagine mal, en effet, la maigre végétation actuelle de lousséké comme étant à l'origine de telles accumulations. Ils n'en sont pas moins nouveaux et importants.

* Ils confirment en effet l'existence de la forêt pendant un temps très long, tout le Njilien, dans des milieux très pauvres, caractérisés actuellement par une végétation steppique, qui semble de fait relativement récente, résiduelle, ou tout au moins de dégradation et sans lien réel avec les principales phases de podzolisation. En particulier, ils attestent de la plus grande extension passée de la forêt sur les Plateaux sensu stricto, où une telle formation est actuellement exceptionnelle.

* La formation, semble-t-il exclusive, des alios sous forêt montre que le type de végétation, primordial dans la podzolisation tempérée, est également important dans la podzolisation tropicale. Ce fait nouveau s'oppose à diverses observations faisant état de l'existence de climax très différents sur les mêmes podzols (RICHARDS, 1941). Ils tendraient à prouver que les podzols sur lesquels il est possible de trouver différents types de végétation sont des sols reliques, dont l'écologie actuelle ne permet pas d'appréhender les facteurs de formation.

* Il nous paraît, à cet égard, fondamental d'élargir les résultats obtenus ici à tout à un éventail de podzols tropicaux. L'utilisation des variations de la teneur en ^{13}C est un outil qui devrait contribuer à améliorer l'écologie de la podzolisation tropicale.

II.- LES DONNEES DE LA RADIOCHRONOLOGIE

A.- Introduction

1.- Principe de la méthode

La méthode du ^{14}C est couramment utilisée en préhistoire et en pédologie. On se contentera d'en rappeler les principes généraux, une importante littérature existant sur le sujet (LIBBY, 1962 ; GUILLET, 1979 ; DESCAMPS, 1979 ; DELIBRIAS, 1981 ; BALESSENT et GUILLET, 1982).

Le ^{14}C de l'atmosphère résulte de l'action en haute atmosphère des neutrons d'origine cosmique sur le ^{14}N . Le ^{14}C s'oxyde immédiatement et se mélange au $^{12}\text{CO}_2$ de l'air, avec lequel il se trouve en proportion à peu près constante. Il est ensuite incorporé par les plantes lors de la photosynthèse, puis ingéré par les animaux. Là également il est en proportion constante avec le ^{12}C .

A la mort de l'organisme, la quantité de ^{14}C décroît en fonction de la radioactivité caractéristique du ^{14}C (période $T = 5\,570$ ans). On peut donc trouver l'âge de l'organisme en fonction de la quantité de carbone radioactif restant dans l'organisme.

Le principe est donc simple, mais la pratique est rendue un peu plus complexe, par l'existence de variations de l'activité du carbone : variations anciennes assez mal connues, dilution par le CO₂ des combustibles fossiles, concentration, dues aux explosions nucléaires.

Cette méthode permet de remonter de façon assez précise jusqu'à 30 à 35 000 ans. Depuis peu, certains laboratoires pratiquant un enrichissement artificiel en ¹⁴C remontent jusqu'à 70 000 ans.

2.- Datations absolues et âges moyens

En archéologie, cette méthode permet de dater des objets ponctuels contenant du carbone organique, ou sous forme de carbonates : charbons de bois, os, coquilles, végétaux, objets manufacturés. L'âge obtenu est la date à laquelle est mort l'organisme analysé. On a donc, abstraction faite des erreurs systématiques et des corrections, une datation précise, absolue, portant sur un individu, et dont les applications sont diverses : mesure directe de l'âge d'objets ou d'organismes, corrélations avec des objets impossibles à dater (métaux, outillage en pierre), chronologie et comparaison de couches archéologiques ...

Pour le pédologue, le problème est plus complexe. En effet, l'objet à dater, la matière organique de certains horizons, n'est pas un individu, mais un double "continuum" :

- un continuum spatial, un horizon s'étendant sur une surface en général importante,
- un continuum temporel : la formation d'un sol, d'un horizon, est un phénomène continu dans le temps.

Les apports de matière organique, qu'il s'agisse d'horizons A₁ ou B_h, se font par apports successifs, de telle sorte qu'on peut affirmer que la matière organique du sol est formée d'"entités hétérochrones" (BALESDENT et GUILLET, 1982) très différentes.

La mesure au ¹⁴C intègre ces différents âges, et on obtient ainsi un âge moyen, qui dépend de la courbe de distribution des âges de chacune de ces entités.

La signification de ces âges moyens dépend du type d'horizon (GUILLET, 1979) sur lequel porte la mesure.

- Dans le cas de sols fossiles, enterrés, l'âge moyen peut le plus souvent être assimilé à un âge absolu.
- Dans les B_h de podzols, l'âge moyen est très variable et dépend de l'activité biologique (GUILLET et ROBIN, 1972), autant que de la durée de la podzolisation. Dans le cas des podzols à très faible activité biologique, l'accumulation de matière organique intègre la durée de la podzolisation (PERRIN et al., 1964) et l'âge moyen est alors élevé. Dans les podzols tempérés, il correspond à peu près à la moitié de la durée de la podzolisation (GUILLET, 1972 ; RIGHI et GUILLET, 1977).
- Enfin, dans le cas d'horizons de surface, l'âge moyen est une fonction inverse du turn-over de la matière organique.

3.- Données bibliographiques sur les âges moyens des horizons spodiques

a) En Europe

Les TMR de podzols forestiers, relativement bas, de l'ordre de quelques siècles (TAMM et HOLMEN, 1967 ; GUILLET, 1972 ; GUILLET et ROBIN, 1972 ; ROBIN, 1979) s'opposent aux podzols de landes, dont le TMR varie de 1 500 à 3 000 ans (PERRIN et al., 1964 ; DELIBRIAS et al., 1966 ; GUILLET, 1972b ; RIGHI, 1977 ; RIGHI et GUILLET, 1977 ; SCHARPENSEEL, 1977 ; ROBIN, 1979). Les premiers indiquent un certain renouvellement de la matière organique, alors que dans les seconds, il n'y a qu'une faible biodégradation de la matière organique des horizons spodiques souvent indurés, ou tout au moins formés de complexes alumino-organiques stables.

Dans ce dernier cas, l'âge apparent est souvent de l'ordre de la moitié de l'âge des landes qui ont donné naissance aux podzols.

Dé même, des différences apparaissent entre les horizons meubles et indurés de podzols hydromorphes des Landes (RIGHI, 1977 ; RIGHI et GUILLET, 1977) et entre différentes fractions humiques (SCHARPENSEEL et al., 1968 ; SCHARPENSEEL, 1977). Par contre, RIGHI et GUILLET (1977) ne notent aucune différence entre les diverses fractions granulométriques d'agrégats.

D'une façon générale, les TMR croissent avec la profondeur. C'est une loi qui dépasse largement le cadre des podzols (on lira avec intérêt GUILLET, 1979 et BALESSENT et GUILLET, 1982, pour une revue bibliographique conséquente).

b) En milieu intertropical

Des TMR très élevés ont été observés dans des alios de podzols hydromorphes de Guyane (TURENNE, 1975 ; RAPAIRE et TURENNE, 1977). Des différences apparaissent suivant les fractions humiques ; l'humine et les acides fulviques ayant le même âge apparent (7 200 ans pour les plus anciens), les acides humiques paraissant plus vieux (11 300 ans). Les auteurs notent également un gradient de temps de l'amont vers l'aval, les parties les plus hautes étant les plus anciennes (tout comme pour les sols étudiés par RIGHI et GUILLET, 1977), et ici pratiquement fossilisées.

Enfin, au Brésil, FLEXOR et al. (1973) ont trouvé des TMR variant de 550 à 3 300 ans sur des podzols drainés, où la podzolisation est encore actuelle.

En Afrique, nous n'avons pas connaissance que de telles mesures aient été effectuées.

B.- Résultats et interprétation

Les mesures d'âges figurent au Tableau XX. Elles ont été effectuées pour partie au Laboratoire du Radiocarbène du C.N.R.S. (G. DELIBRIAS) et au C.P.B. (B. GUILLET) pour les autres.

On remarquera notamment, ainsi que nous l'annonçons au Chap. VIII, que les datations absolues se répartissent dans les épisodes climatiques humides du Kibangien et du Njilien, ce qui apparaît maintenant classique en ce qui concerne les formations batéké.

Tableau XX. - Mesures d'âge par le ^{14}C .

Echantillons	N° Labo	Lieu	Profondeur (cm)	Horizon	Nature	Age BP
PZO 3	GIF 6311	Brazzaville	100	A ₂	charbons de bois	7 400 ± 110
LOU 1	GIF 6504	N.O. Plateau Mbé	80	limite A ₁ -A ₂	charbons de bois	3 700 ± 80
GASC 75	GIF 6053	Gangalingolo	40	A ₂	charbons de bois	2 370 ± 80
GASC 83	GIF 6054	Gangalingolo	104-135	alios	racines	≥ 30 000
GASC 98-a	GIF 6501	Gangalingolo	80-110	A ₁ enterré	charbons de bois	12 100 ± 180
GASC 98-b	GIF 6052	Gangalingolo	80-110	A ₁ enterré	matière organique	11 500 ± 160
GASC 1-B _{21h}	Ny 1064	Gangalingolo	= 110	B _{21h}	matière organique	10 400 ± 150
GASC 1-a	Ny 1015	Gangalingolo	130	alios	matière organique	29 400 ± 800
GASC 1-b	Ny 1016	Gangalingolo	200	alios partie sup.	matière organique	38 500 ± 2 000
BOUL 3	Ny 1042	Boulankio	-	alios	matière organique	18 500 ± 300
PKSC 4	Ny 1043	Km 45	-	alios	matière organique	17 100 ± 200
Rappel :						
GASC 1-1	Ny 1063	Gangalingolo	0- 10	A ₁	matière organique	$\delta^{14}\text{C} = + 146,3 \%$

1.- Problème de contamination par du carbone actuel (éch. GASC 98)

Lors de mesures d'âges par le ^{14}C , la contamination par du carbone récent est une source d'erreur importante, en particulier sur les échantillons de sols, et difficilement décelable.

Afin de mesurer l'importance possible de la contamination des matières organiques par le carbone en solution dans l'eau de la nappe, nous avons procédé à l'analyse de deux échantillons complémentaires, provenant tous deux d'un horizon organique d'extension réduite, quelques mètres carrés, compris entre deux A₂. Cet horizon n'est apparemment pas un horizon spodique, mais un niveau organique enfoui (peut-être un fond de mare recouvert ou un niveau anthropique). En effet, cet horizon non induré, mais relativement compacté, montre des figures pédologiques très nettes par endroits : zones décolorées le long de passage de racines, présence de fentes délimitant des assemblages

structuraux. Le fractionnement humique montre qu'il y a 22 % de matières non extractibles au pyrophosphate, ce qui le distingue assez nettement des alios (Chapitre VI). La présence, à sa surface, de pierres taillées renforce cette hypothèse. Dans ces conditions, et sauf contamination par du carbone récent, l'âge moyen des substances organiques de cet horizon est assimilable à l'âge absolu de l'horizon. Les deux échantillons prélevés et analysés sont les suivants :

- un échantillon de sol susceptible d'avoir été contaminé par du carbone plus récent,
- des charbons de bois inclus dans cet horizon, peu susceptibles de contamination, et dont l'âge à l'époque de leur enfouissement est a priori peu élevé, ce qui, en toute bonne logique, doit se traduire par des âges ^{14}C peu différents des deux échantillons.

Les résultats paraissent en effet très probants. Les très faibles différences, à peine significatives (elles ne le sont d'ailleurs plus en prenant un intervalle de confiance à 95 %) peuvent être dues au fait que les charbons de bois avaient un âge de 200 à 300 ans à leur enfouissement, tout comme à une très légère contamination par du carbone récent. En tout état de cause, cette pollution est infime, négligeable.

A plus forte raison, l'horizon B_{21h} et l'alios, relativement protégés par leur imperméabilité, seront-ils exempts de pollution par les eaux de la nappe.

2.- Interprétation des datations absolues

a) Echantillon PZO-3

Ces charbons de bois proviennent du site étudié au Chapitre VIII. Ils se trouvaient à un mètre de profondeur, à l'Est du rebord de la falaise (Figure 43). Plus récents que l'industrie posée sur l'alios, ils apportent une confirmation analytique à son ancienneté. Ils permettent même d'envisager l'hypothèse que les apports sableux se sont faits en plusieurs fois. En effet, l'allure de l'outillage tend à prouver que le recouvrement principal s'est effectué vers 12 000-10 000 BP. Dans ce cas, ces charbons à 7 400 BP proviennent soit de remaniements sur place, soit de nouveaux apports sableux. D'autre part, ils se trouvent en plein A₂, à nombreuses raies de matière organique non perturbées. Il sont donc nécessairement plus anciens que ces B_h en bandes.

b) Echantillon LOU-1

Ces charbons de bois proviennent d'un lousséké complètement démantelé par l'érosion latérale provoquée par le déplacement d'un méandre de la Louna (N-O du plateau de Mbé). De ce lousséké ne subsiste plus qu'une frange, à peine visible en coupe le long de la berge, recouverte par des apports sableux provenant des versants. Les charbons de bois se trouvent associés à une industrie préhistorique sur galets de quartz, à 80 cm de profondeur, à la limite entre l'horizon A₂ podzolique blanc et son recouvrement de sables jaunes provenant des pentes avoisinantes. Leur datation à 3 700 BP montre que ce lousséké n'est plus fonctionnel depuis au moins cette date.

c) Echantillon GASC-75

Ces charbons de bois proviennent d'un profil situé près de la bordure du lousséké de Gangalingolo. Ils sont associés à une industrie préhistorique attribuée à du Tshitolién récent, présente assez systématiquement à Gangalingolo, entre 40 et 90 cm, et prouve d'apports latéraux. Ce fait, si les apports se sont effectués comme c'est probable à partir de matériau non podzolisés, signifie que la tranche supérieure de l'horizon A₂ résulte d'apports ayant moins de 2 370 ans, et qu'ils ont été podzolisés depuis cette date. Cependant, dans cette tranche d'âge, et à cette profondeur (40 cm), des remaniements anthropiques ne sont pas à exclure.

d) Echantillon GASC-83

Les racines in situ dans l'aliôs ne sont datées que par une limite inférieure. Elles ont 30 000 ans ou plus. Cette relative imprécision provient en partie de la politique adoptée par le Laboratoire du Radiocarbone du C.N.R.S. En effet, ce laboratoire considère que dans cette tranche d'âge élevée, la moindre pollution engendre des erreurs importantes. Plutôt que de donner une date apparemment précise mais en fait entachée d'erreur, ce laboratoire préfère introduire cette imprécision dans le résultat, en exprimant celui-ci sous forme d'inégalité : âge supérieur ou égal à ...

Cependant, différents éléments nous font penser que ces racines ont un âge voisin de 30 000 ans : faiblesse de la contamination par de la matière organique actuelle, en raison de la nature même de l'horizon, dans lequel elles ont été récoltées, attribution probable de cette végétation au début d'une phase d'assèchement du climat, donc à la fin du Njilien, soit vers 30 000 BP.

3.- Interprétation des âges moyens de la matière organiquea) Aliôs de Gangalingolo

L'âge moyen de la partie supérieure de l'aliôs est de 29 400 ± 800 ans. Celui de la partie médiane, 38 500 ± 2 000 BP. La base de l'aliôs n'a pas été datée, car trop proche des limites de la méthode du ¹⁴C, mais son âge ne peut être que supérieur à celui de la partie médiane.

Ces âges confirment l'ancienneté de la podzolisation, et permettent de préciser amplement les limites de celle-ci.

En effet, il apparaît que la formation de l'aliôs est un phénomène limité dans le temps. Celle-ci n'a pu commencer au Maluekien, période certainement trop aride et pendant laquelle s'individualisent les reliefs sur lesquels vont se former les podzols (voir également Chapitre VIII-III). A l'inverse, la podzolisation n'a pu se dérouler de façon continue, du Njilien jusqu'à nos jours, car on aurait, dans ce cas, des âges moyens bien moins élevés que ceux obtenus. Les mesures d'âge qui s'inscrivent de fait dans la période du Njilien, suggèrent deux conclusions importantes :

* La formation des horizons d'accumulation B_{22h} et B_{23h} a été limitée à la période du Njilien, encadrée par deux épisodes climatiques relativement arides ; c'est vraisemblablement au cours de cette période que s'est accumulée la quasi totalité du stock organique de l'aliôs.

* Dans ces horizons fossiles et anciens, l'âge moyen des matières organiques se confond avec l'âge absolu de l'aliôs.

b) Horizon B_{21h}

La genèse de cet horizon s'inscrit dans le cadre du Kibangien : c'est la conclusion qui s'imposait suite à l'étude pédoarchéologique du site PZO (Chapitre VIII). D'autre part, la matière organique de cet horizon ne semble pas provenir d'une reprise sur place de la matière organique des aliôs, comme le prouve la transition brutale entre les deux horizons : la matière organique qui s'y trouve provient donc de phénomènes pédogénétiques datant de moins de 12 000 ans.

L'âge moyen relativement élevé de ces matières organiques (10 400 ans) prouve alors que la formation de l'horizon B_{21h} ne s'est pas effectuée de façon continue du début du Kibangien à nos jours (on aurait également, dans ce cas, un âge moyen moins élevé), mais qu'au contraire, elle s'est faite relativement rapidement au début, ou tout au moins pendant la première partie, plus humide (Kibangien a) de cette période.

c) Les aliôs des plateaux (BOUL-3 et PKSC-4)

Les âges moyens des matières organiques des aliôs des plateaux sont un élément quelque peu discordant par rapport à l'ensemble des résultats. Ils sont certes élevés, mais très différents des résultats provenant de la région de Brazzaville, ainsi que de ceux de la Cuvette congolaise, dont les événements sont contemporains des premiers.

Trois hypothèses permettent d'expliquer ces différences :

- La formation des aliôs s'est poursuivie nettement plus longtemps sur les plateaux que dans le Stanley-Pool.

- Un écoulement vertical de la nappe d'eau, possible dans ces dépressions fermées, a pu provoquer une contamination des B_h par des apports de matière organique plus récente.

- Le mode de prélèvement est responsable de la contamination : les deux échantillons ont en effet été prélevés à l'affleurement sur des aliôs qui ont donc pu être très facilement contaminés par des racines de graminées, ou par l'activité, visible à l'oeil nu, de la mésofaune.

De ces trois hypothèses, la première semble la moins probable : les loussékés où ont été prélevés les échantillons ne sont pas si éloignés de Brazzaville (30 et 50 km à vol d'oiseau) pour que les climats passés y aient été si différents. D'autre part, la morphologie des sols, très comparables à ceux des zones de collines, plaide en faveur d'une formation très voisine et contemporaine. Enfin, la mesure du $\delta^{13}C$ de ces aliôs montre qu'ils se sont formés sous l'influence d'une végétation forestière. Or, ceci nous paraît impossible, si cette formation était réellement centrée vers 18 000-17 000, c'est-à-dire au coeur de l'aridification léopoldvillienne bien connue sur l'ensemble de l'Afrique Centrale (FAURE, 1980), période pendant laquelle la forêt a très nettement régressé au Congo (CARATINI et GIRESE, 1979).

Par contre, une pollution récente de la matière organique provenant de graminées permet d'expliquer pourquoi le $\delta^{13}\text{C}$ de cette formation n'est pas purement forestier (-24,5 ; Tableau XIX).

C'est pourquoi, tout en reconnaissant que ces résultats, apparemment contradictoires, auraient besoin d'être confortés par d'autres analyses, nous considérons comme probable la simultanéité de la podzolisation sur l'ensemble des formations batéké

4.- Conclusion

La datation ^{14}C permet de conforter les hypothèses formulées sur le terrain. En particulier, elle montre que la podzolisation des sables batéké est un phénomène discontinu, étroitement lié aux variations paléoclimatiques.

D'autre part, pour les alios, l'âge moyen des matières organiques se confond avec l'âge absolu de la pédogénèse. Ainsi, en l'absence de restes végétaux, les constituants humiques de l'alios peuvent être utilisés en datation à la condition expresse de prélever en profondeur des échantillons protégés d'éventuelles contaminations actuelles.

III.- LA PODZOLISATION LITTORALE

A.- Introduction

Nous avons incorporé à ce chapitre quelques données partielles sur les podzols de la plaine littorale de Pointe-Noire. Bien que très fragmentaires, ces résultats font en effet entrevoir des divergences importantes entre ces podzols et ceux des formations batéké.

Le podzol analysé est situé à Djeno rocher, à quelques kilomètres au Sud-Est de Pointe-Noire. Le développement du profil est peu important. Sous un A_1 d'environ 20 cm, on passe progressivement à un A_2 épais d'environ 40 cm. L'horizon B_h , brun, est meuble à passées nodulaires indurées. Il est épais de 30 cm environ. En dessous, vers 90 cm, apparaissent les sables ocres de la série des cirques.

Deux échantillons de B_h ont été analysés. Le premier (Dje 1) est le B_h meuble. Le deuxième (Dje 2) provient de nodules indurés au sein de ce B_h (Tableau XXI).

Tableau XXI.- Podzolisation littorale : mesure d'âge et composition isotopique ^{13}C .

Echantillons	$\delta^{13}\text{C}$	Age BP
Dje 1	- 19,8 ; - 20,0	1 330 \pm 70
Dje 2	- 21,8 ; - 21,9	1 880 \pm 70

B.- Datations ^{14}C

En supposant qu'il n'y a pas contamination par du carbone récent, l'âge apparent relativement faible des deux échantillons s'explique par un certain renouvellement de la matière organique des horizons spodiques. Ce renouvellement est plus important dans le B_h meuble, ce qui est un résultat classique (RIGHI et GUILLET, 1977).

Si on admet que dans cette tranche d'âge la durée de la podzolisation est à peu près du double que l'âge apparent des sols, elle aurait débuté il y a environ 3 000-3 500 ans, c'est-à-dire dans la deuxième partie du Kibangien, marquée par une très légère aridification depuis 3 000 ans, et surtout depuis 1 000 ans (CARATINI et GIRESE, 1979).

C.- Mesures du $\delta^{13}\text{C}$

Les échantillons de Djeno rocher ont un $\delta^{13}\text{C}$ intermédiaire entre celui des steppes et celui des forêts. Il est vrai qu'ils s'insèrent dans le cadre chronologique des trois derniers millénaires, pendant lequel la végétation, formée d'une mosaïque de forêt mésophile et de savanes, a peu varié.

La genèse de ces horizons s'inscrit donc, soit dans un contexte de forêt claire et de savane arborée, soit dans une alternance de phases forestières et de savanes (sous l'influence de facteurs anthropiques ?). Ces faits tendraient à prouver que ces podzols ne se sont pas formés sous forêt pure, comme le pensait JAMET (1969, 1976).

D.- Conclusions

Ces podzols s'individualisent nettement des podzols des sables batéké, aussi bien d'un point de vue morphologique qu'analytique et génétique. La podzolisation qui affecte ces sols semble, de toute évidence, récente, au pire, subactuelle, et s'est effectuée sous des conditions de milieu peu différentes des conditions actuelles : même régime des pluies et niveau de base (d'après GIRESE (1981), le 0 marin a peu varié depuis cette date), même végétation. Il ne semble pas y avoir de nappe d'eau dans ces podzols. Il s'agirait dans ce cas d'une réelle podzolisation en milieu drainé, ainsi que tendraient à le prouver les taux de fer importants (jusqu'à 1,9 % de fer total et 0,96 %

de fer libre relevés par JAMET et RIEFFEL (1976) dans ces horizons spodiques).

Une question fondamentale reste cependant en suspens : pourquoi une telle podzolisation récente et aussi nette en région côtière n'a-t-elle pas d'équivalent sur les sables batéké, alors que les conditions climatiques qui règnent sur le littoral (Pointe-Noire : 1 200 mm de pluie par an, répartis sur 7 mois, contre 1 400 mm sur 8 mois, à Brazzaville), paraissent a priori moins favorables à la podzolisation. Faut-il faire appel à des discontinuité granulométriques, dont on sait qu'elles sont importantes dans ce matériau (JAMET et RIEFFEL, 1976), susceptibles d'induire des nappes perchées très temporaires ? Il est pour le moment impossible de répondre à cette question. Nos données sont trop fragmentaires pour que l'on puisse se hasarder à quelque interprétation que ce soit. Elles ont toutefois le mérite de soulever un problème intéressant, qui reste à approfondir.

IV.- CONCLUSION : ECOLOGIE DE LA PODZOLISATION SUR SABLES BATEKE

Deux types complémentaires d'approche ont été employés ici ; la caractérisation des racines et la détermination de la composition isotopique ^{13}C servent de traceurs écologiques, et permettent à ce titre de mieux comprendre les conditions environnementales de la formation des podzols, dont les étapes sont datées par le Carbone-14, traceur chronologique, qui donne ici des âges relatifs pratiquement confondus avec l'âge absolu des phénomènes. L'approche analytique des paléoenvironnements de la podzolisation conforte et précise ainsi les hypothèses fondées sur les observations de terrain, et aboutit à des conclusions importantes.

* La podzolisation des sables batéké est un phénomène pédogénétique qui s'inscrit dans le cadre des quarante derniers millénaires. Il s'agit d'un processus discontinu dans le temps, qui s'est effectué en plusieurs phases étroitement corrélées avec les variations des paléoclimats des derniers épisodes du Quaternaire.

* Les différentes observations que nous avons pu faire, la grande ressemblance des profils sur toute l'étendue des sables batéké, la concordance des épisodes que nous avons pu mettre en évidence avec des datations semblables dans la Cuvette congolaise, plaident en faveur d'une simultanéité des phases de podzolisation sur l'ensemble des formations batéké. Cette podzolisation semble s'opposer à celle qui caractérise le littoral congolais, plus récente, qui s'inscrit dans la dernière phase de l'Holocène.

* Si la podzolisation s'est effectuée en plusieurs phases, l'épisode principal, caractérisé par la formation des alios, s'est déroulé au Njilien, entre 40 000 et 30 000 BP, sous l'influence d'une végétation forestière. L'intensité des autres phases est sans commune mesure avec la première.

* La forêt est une formation végétale qui apparaît ainsi nettement plus développée au Njilien que de nos jours sur ces formations sableuses, ce qui dénote d'un climat plus humide que l'actuel. Ces deux facteurs ont eu une influence prépondérante dans l'intensité des phénomènes.

* Des influences forestières, bien que moins nettes, sont encore perceptibles au début du Kibangien (formation de l'horizon B_{21h}). Il est clair que la végétation actuelle, la steppe à *Loudezia*, n'a pas eu d'influence notable sur la formation de ces sols. Elle semble être une végétation de dégradation, installée relativement récemment.

* Il apparaît ainsi nettement que la genèse de ces sols s'est déroulée dans des conditions écologiques variées. En particulier, les facteurs écologiques et le pédoclimat actuels ne permettent pas de comprendre la genèse de ces sols, essentiellement reliques.

CHAPITRE X

FORMATION DES PAYSAGES ET HISTOIRE DE LA PODZOLISATION

BILAN DES APPROCHÉS

I. - RECONSTITUTION ET CHRONOLOGIE DE LA PODZOLISATION

En toute rigueur, la reconstitution que nous proposons concerne la région de Brazzaville. Toutefois, les points de comparaison dont nous disposons permettent, sans grand risque d'erreur, de les généraliser à l'ensemble des formations batéké. (Figure 50).

A. - Le Maluekien (70 000 ? - 40 000 BP)

Le Maluekien est une période encore relativement mal connue. Considéré comme relativement aride, notamment en raison de la régression marine mise en évidence au large du Congo (GIRESSE, 1978) et de l'existence, dans le Stanley-Pool, de dépôts alluviaux soulignant la faible compétence des cours d'eau (GIRESSE et al., 1981), son degré d'aridité réel est cependant inconnu. C'est pendant cette période, et peut-être plus particulièrement à l'inversion climatique Maluekien-Njilien, que s'individualisent les formes de relief (fonds de vallées) sur lesquelles vont se développer les podzols.

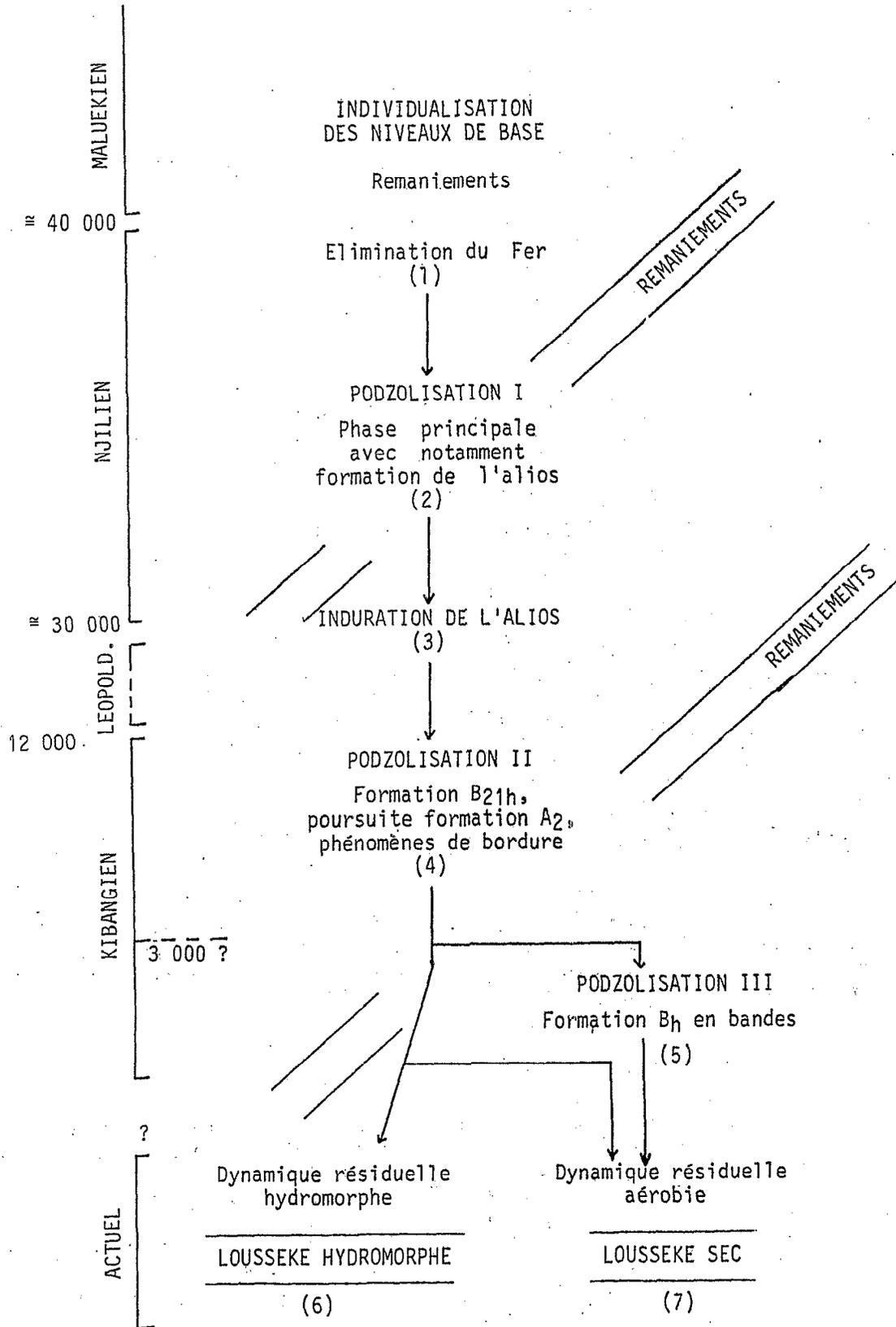


Figure 50.- Reconstitution des phases de podzolisation sur sables batéké.

B.- Le Njilien (40 000-30 000 BP)

Le Njilien est une courte période de réhumidification, pendant laquelle la podzolisation a été particulièrement intense. Elle s'est effectuée dans les vallées, sous l'influence de la nappe phréatique.

1.- Elimination du fer

On connaît le rôle inhibiteur du fer dans la podzolisation en climat tempéré (TOUTAIN, 1974). Il joue le même rôle dans les sols ferrallitiques (TURENNE, 1975), où il est relativement abondant. L'élimination du fer est donc un préalable indispensable à la podzolisation.

En milieu hydromorphe, comme l'étaient ces fonds de vallées, l'élimination du fer ne pose pas de problèmes : il est très facilement mobilisé par les eaux réductrices des nappes. Par contre, l'aluminium est peu mobile dans ces milieux (JUSTE, 1965). C'est lui qui formera les complexes organo-minéraux.

L'élimination du fer est quasi totale, comme le montrent les taux relevés à l'analyse :

* Dans les zones de collines, cette élimination implique l'existence d'une circulation latérale, même lente, de la nappe. Le fer est finalement entraîné dans les eaux courantes des rivières.

* Sur les Plateaux, la circulation du fer est peut-être plus complexe. Les loussékés se sont le plus souvent développés dans des dépressions fermées, sans écoulement permanent. L'entraînement du fer s'est certainement effectué sur des distances moins importantes : LE MARECHAL (1966) signale des niveaux ferrugineux en bordure de lousséké. Toutefois, même dans ces conditions, on a toujours une ségrégation systématique du fer : sur les plateaux, les alios sont, eux aussi, des alios humiques.

2.- Première phase de podzolisation

Cette première phase de podzolisation, pendant laquelle se sont formées en particulier les accumulations humiques, a suivi de près l'élimination du fer. Elle a même pu en être partiellement concomitante : on observe de tels phénomènes dans certains sols de transition de Gangalingolo (Chapitre V).

Au cours de cette phase, la podzolisation a été particulièrement intense. L'altération s'est traduite par la formation d'horizons éluviaux A₂ très épais, plusieurs mètres parfois, mais l'élément le plus remarquable réside dans l'ampleur qu'ont atteinte les accumulations humiques. En effet, les âges moyens des matières organiques des alios montrent que ces accumulations s'inscrivent en totalité dans cette période humide du Njilien. Ainsi, les quelques 2 200 t/ha de matière organique accumulées dans les horizons spodiques à Gangalingolo résultent-elles d'apports annuels de l'ordre de 220 kg/ha.

Pour expliquer de telles accumulations, plusieurs conditions paraissent nécessaires :

- la présence d'une végétation luxuriante capable de produire une abondante "matière première". La forêt est, en l'occurrence une végétation fournissant aux litières des apports organiques bien plus importants qu'une maigre steppe.

- une très faible biodégradation de la matière organique dans les B_h, condition qui, malgré la présence au MET de traces d'activité biologique (Chapitre VI), a été réalisée, comme en témoignent les C/N élevés, ainsi que la confusion possible entre l'âge moyen des matières organiques et l'âge absolu de l'altos.

- un drainage externe faible, favorisant l'accumulation de la matière organique plutôt que son élimination latérale dans les rivières (on peut, à cet égard, supposer que les podzols à A₂ très épais et sans B_h sont ceux dont le drainage externe a été suffisant pour favoriser l'exportation des substances organiques). Il convient donc d'imaginer un drainage externe assez faible pour expliquer l'accumulation des matières organiques dans les horizons spodiques, mais d'autre part suffisant pour que le fer soit exporté hors des profils. ANDRIESSE (1968) avait déjà fait cette remarque pour les podzols de Malaisie.

- un assèchement saisonnier, donc un battement de nappe important, susceptible d'expliquer l'entraînement en profondeur de la matière organique solubilisée.

RIGHI (1977) a montré l'importance du battement de nappe, et de la position relative des sols le long des microreliefs sur l'orientation de la pédogénèse : les sols en sommet de buttes, à assèchement estival marqué, forment des podzols à A₂ et B_h induré, ceux en position intermédiaire, des podzols sans A₂ et à B_h meuble, tandis que les sols des dépressions, dans lesquels l'humidité reste toujours proche de la capacité de rétention, même pendant la période estivale, sur toute l'épaisseur non engorgée du profil, sont des sols peu humifères à gley.

On peut toutefois rester sceptique sur l'amplitude d'un battement de nappe saisonnier devant atteindre, voire dépasser 8 m, au vu de l'épaisseur de certains podzols. Il faudrait alors admettre que l'incision des niveaux de base, importante et continue au Njilien, a favorisé ce battement et ainsi provoqué ou accéléré la podzolisation dans une portion de l'unité de paysage, correspondant à des intensités bien précises des variations des gradients d'hydromorphie, se déplaçant vers l'aval au fur et à mesure que l'incision se poursuivait.

Ces différents schémas sont bien évidemment hypothétiques, mais il ne nous est pas possible de les préciser.

3.- Induration de l'aliôs

Ainsi que nous l'avons vu au Chapitre IX, la végétation récoltée à Gangalingolo ne peut être postérieure à l'induration de l'aliôs. Elle est au mieux contemporaine. Une telle induration nécessite un relatif assèchement des podzols. Cet assèchement a pu avoir deux origines différentes :

- l'amélioration du drainage externe, par l'enfoncement des niveaux de base des cours d'eau, qui s'est produit au Njilien ;

- un assèchement du climat, avec le passage à une période aride (Léopoldvillien).

Les âges moyens des matières organiques du sommet de l'aliôs, assimilables ici à des âges absolus ($29\ 400 \pm 800$ BP) et les âges des racinés ($\geq 30\ 000$ BP et vraisemblablement $\approx 30\ 000$ BP) qui apparaissent contemporaines du début de l'induration, tout en témoignant d'un climat encore très humide, permettent de placer l'induration à la fin du Njilien et à l'inversion climatique Njilien-Léopoldvillien.

C.- Le Léopoldvillien (30 000-12 000 BP)

Nous citons cette période à l'aridité marquée pour mémoire. En effet, rien, dans nos observations, ne permet de faire état de l'existence de phénomènes de remaniements ou de phases de pédogénèse.

Dans le matériau sableux (où l'infiltration prime, par nature, sur le ruissellement), qui compose le pays batéké, les remaniements de sols semblent surtout s'être effectués pendant les périodes climatiques humides, comme le montre la répartition des âges des niveaux datés. Les témoignages datés de remaniements sont particulièrement rares pendant cette période du Léopoldvillien, qui s'inscrit dans le cadre maintenant bien connu d'une aridification générale à tout le continent africain (FAURE, 1980) et qui semble avoir été localement, malgré les hypothèses avancées par De PLOEY (1963, 1969), un épisode de relative stabilité des paysages.

En ce qui concerne les phases de pédogénèse, cette aridification a provoqué un arrêt de la podzolisation. LE COCQ a recueilli, dans la Cuvette congolaise, un tronçon de branche qui a été secondairement silicifié, certainement pendant cette période (DELIBRIAS et al., 1983).

D.- Le Kibangien (12 000-actuel)

Pendant le Kibangien, on assiste à une reprise de la podzolisation, en liaison avec la réhumidification du climat. C'est ici la nappe perchée sur l'aliôs, et non plus la nappe générale, qui est responsable d'une pédogénèse dont l'intensité n'a jamais atteint, semble-t-il, l'ampleur des phénomènes du Njilien.

1.- Podzolisation hydromorphe (podzolisation II)a) Formation de l'horizon B_{21h}

Cet horizon, de faible épaisseur, se caractérise essentiellement par une accumulation de particules quartzeuses fines (< 20 µm) et la présence de matière organique sous forme de microagrégats.

* Les particules minérales siliceuses fines sont des quartz résiduels, provenant d'un lavage vertical de l'horizon A₂. Ils sont entraînés en profondeur jusqu'à un support où ils se fixent.

* L'origine des microagrégats de matière organique a fait l'objet de plusieurs hypothèses, comme le rappelle RIGHI (1975, 1977). Aucun élément ne permet ici d'accréditer l'hypothèse d'une origine autochtone de la matière organique (De CONINCK *et al.*, 1973), soit par reprise biologique de la matière organique des alios, soit par décomposition de racines. Par contre, une formation par précipitation de substances organiques dispersées dans les vides d'entassement (ALTMULLER, 1962 ; FITZPATRICK, 1971) est tout à fait compatible avec les images observées en micromorphologie (MET).

L'âge moyen des matières organiques de cet horizon prouve que celui-ci s'est formé assez rapidement, au début du Kibangien (vers 12 000-8 000 BP ?) et qu'il est actuellement, lui aussi, un horizon relique. Les δ¹³C des matières organiques montrent que le B_{21h} s'est formé sous l'influence plus (Gangalingolo) ou moins (PZO) nette d'une végétation en C₃, forestière certainement.

b) Formation d'horizons A₂

D'une façon générale, l'horizon A₂ s'est formé dès le Njilien. Cependant, dans certains cas (apports latéraux de matériaux non podzolisés), la formation de cet horizon a pu se poursuivre au Kibangien. L'exemple de PZO est, à cet égard, significatif : c'est, ici, tout l'horizon A₂ (soit près de 5 m d'épaisseur par endroits), qui s'est formé pendant cette période. Dans certains loussékés, la présence de niveaux archéologiques tshitoliens (≤ 12 000 ans BP), tout comme, dans d'autres cas, celle d'horizons A₁ enfouis, plaident en faveur d'une origine kibangienne de la partie supérieure des A₂ concernés. Dans le cas des niveaux relativement récents et peu profonds, on ne peut toutefois écarter entièrement l'hypothèse de remaniements latéraux de très faible amplitude, à partir de sables déjà podzolisés, ni celle d'un enfouissement sur place, par action anthropique plutôt que par action de la mésofaune, toujours très faible dans ces podzols.

c) Formation d'alios

Si l'exemple de PZO montre que les conditions propices à une podzolisation relativement intense existaient au Kibangien, il ne semble pas qu'il se soit formé des accumulations humiques de façon importante

pendant cette période. C'est là, certainement, l'amélioration du drainage externe qui est en cause : l'enfoncement des niveaux de base, déjà important au Njilien, se poursuit au Kibangien. La matière organique solubilisée et la phase migratrice des minéraux hydrolysés ont été presque en totalité exportées dans les cours d'eau par les eaux de drainage. La couleur "thé" des rivières témoigne de ces exportations importantes.

LE COCQ (1980) signale la présence locale d'altos de faible extension latérale, surmontant un niveau plus général. Il reste cependant à préciser l'âge de ces formations, qui ne sont pas forcément à attribuer au Kibangien.

d) Phénomènes de marge

L'existence de phénomènes de "bordure", jamais très développés, formant une transition de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres entre sols ferrallitiques et podzols, est peut-être à lier, pour partie, au Kibangien : ainsi, des phénomènes de formation des A₂ par soutirage en bordure du lousséké de Gangalingolo. Nous n'avons cependant que peu d'éléments pour apprécier l'intensité actuelle, ou subactuelle, de ces phénomènes.

En tout état de cause, les limites des loussékés ne semblent pas avoir évolué de façon significative au cours du Kibangien.

2.- Amélioration du drainage externe

A partir d'un certain moment, difficile à préciser, il s'est produit une divergence dans l'évolution des podzols. Dans les uns, la nappe perchée a disparu en totalité ou partie, dans les autres elle a subsisté jusqu'à nos jours.

Différents facteurs peuvent être avancés pour expliquer la disparition de la nappe. Certains sont généraux, d'autres stationnels. Parmi les facteurs généraux, on assiste depuis environ 3 000 ans à un assèchement relatif du climat (CARATINI et GIRESSÉ, 1979). D'autre part, au moins dans la région des collines drainées vers le Pool, l'abaissement du niveau de base s'est poursuivi, ce qui a provoqué une augmentation notable du drainage externe ; certains podzols se trouvent ainsi à plus de 30 m au-dessus du niveau de base actuel. Parmi les facteurs stationnels, on citera la nature du "bed-rock", le débit de la rivière, la distance à un grand affluent, tous facteurs qui ont pu accélérer, ou au contraire ralentir, l'enfoncement local du niveau de base.

Ces différents facteurs cumulés ont donc une importance variable, mais ils ont pu, dans certains, déclencher des seuils à partir desquels certains podzols, et en particulier ceux dont les horizons A₂ sont les plus épais, ont été exondés en partie ou totalité.

Il est difficile de préciser de quand date l'amélioration du drainage externe des podzols. Il paraît toutefois vraisemblable d'estimer que la divergence d'évolution entre loussékés secs actuels et loussékés hydro-morphes a débuté vers 3 000-4 000 ans, avec l'assèchement relatif du climat, et se poursuit de nos jours comme l'enfoncement des niveaux de base.

3.- Podzolisation en milieu drainé (Podzolisation III)

Cette troisième phase de podzolisation affecte la plupart des podzols entièrement secs. Elle se traduit par la formation de B_h en bandes de quelques millimètres d'épaisseur, plus ou moins anastomosées, séparées les unes des autres par un intervalle de 10-20 cm. Le $\delta^{13}C$ montre que ces B_h en bandes ne se sont pas formés sous l'actuelle steppe lousséké. En effet, la composition isotopique ^{13}C de la matière organique, qui constitue les B_h en bandes, est intermédiaire entre celle des plantes en C3 et C4. Ce fait peut s'interpréter de deux manières différentes. Il est possible d'envisager que la formation des B_h en bandes se soit effectuée sous une végétation unique, constituée d'un mélange de plantes en C3 et en C4; mais il est tout autant possible que cette formation se soit faite à partir de matière organique provenant de végétations successives et différentes. Ainsi, on peut imaginer que cette matière organique provient, pour partie, d'un héritage ancien de matières humiques contenues dans le A_2 (et provenant par exemple d'une végétation forestière), auquel se rajoute de la matière organique de percolation plus récente (provenant d'une steppe lousséké). Il paraît difficile, pour le moment, de préciser ces hypothèses.

La formation de ces B_h en bandes est en fait un épiphénomène : migration et accumulation de fines lamelles de matière organique, dans un milieu déjà podzolisé. De telles accumulations sont classiques dans de nombreux podzols drainés. LENEUF et OCHS (1956) en décrivent en Côte d'Ivoire, FLEXOR et al. (1975) au Brésil, dans des podzols qui ne sont plus soumis à l'influence d'une nappe d'eau. En France, ROBIN (1979) en signale dans les podzols du Bassin Parisien. Il s'agit, dans ce dernier cas, de matière organique se fixant sur de fines bandes argileuses, pour donner des " B_h en lamelles". Il ne semble pas, toutefois, que dans le cas précis des loussékés, ces accumulations soient à lier à de telles discontinuités. L'origine de ces B_h en bandes reste donc à préciser. Ils sont peut-être le résultat d'une production importante d'hydrosolubles, lors d'années exceptionnelles, qui se fixent après avoir balayé le peu de fer et d'aluminium présents dans le A_2 .

D.- Actuel

1.- Dynamique des humus dans les loussékés

Les limites des zones podzolisées sont, dans l'ensemble, stabilisées : il n'y a, en règle générale, plus rien à podzoliser dans les loussékés, et la podzolisation ne peut progresser le long des versants, puisque la nappe y est inexistante.

Il paraît donc difficile, dans ces conditions, de parler de podzolisation dans les loussékés (sauf peut-être en bordure basse de certains loussékés hydromorphes, dans une frange de quelques mètres). Dans les horizons A_2 , à 100 % quartzeux, le seul facteur de différenciation est l'hydromorphie, qui joue sur l'évolution des humus. Ceux-ci varient très rapidement, de la tourbe au mull oligotrophe, en fonction du degré d'engorgement.

Il est, à la limite, possible de considérer ces A₂, dans l'esprit de la classification américaine, comme des roches-mères sur lesquelles se développent, en fonction de l'engorgement, des tourbes, des sols hydromorphes, des sols minéraux bruts.

2.- Origine de la végétation des loussékés

La végétation steppique, dont l'association avec les podzols permet de définir le paysage lousséké, ne paraît pas avoir eu d'influence notable sur la podzolisation. Les δ¹³C effectués sur les alios, les horizons B_{21h} et les B_h en bandes, diffèrent notablement de celui des A₁ sous steppe. Il semble donc bien que cette végétation est récente, actuelle ou subactuelle, et qu'il s'agit d'une végétation de dégradation anthropique (influence des brûlis en particulier).

3.- Faciès podzolique des sols ferrallitiques forestiers

Bien qu'ils n'entrent pas dans le cadre de cette étude, nous rappellerons que la dégradation des horizons de surface des sols ferrallitiques psammitiques forestiers du pays batéké se traduisant par l'apparition d'un faciès podzolique sur quelques dizaines de centimètres, est un phénomène ménagé, actuel, s'effectuant en milieu drainé à l'échelle de la centaine d'années.

II.- CONTRIBUTION A LA PALEOGEOGRAPHIE DU STANLEY-POOL

A.- Morphogénèse des paysages et pédogénèse

1.- Les remaniements de sols

Les remaniements de sols, dont la plupart peuvent être attribués avec certitude à des transports latéraux de matériaux à faible distance, ont de tout temps affecté les loussékés, même sur les plateaux où les pentes sont très faibles (< 1-2 %). Ainsi qu'on l'a vu au Chapitre VII, en raison de la nature du matériau, ces remaniements se font surtout pendant les périodes climatiques humides : dans les sols sableux, l'infiltration prime, par nature, sur le ruissellement. Pour que ce dernier soit important, il faut que le sol soit saturé d'eau. Ce n'est également que dans ces conditions que peuvent se faire les transports en masse plus ou moins importants, auxquels nous attribuons l'essentiel des remaniements qui affectent une tranche de sol d'épaisseur variable : quelques dizaines de centimètres à plus de 5 mètres.

Les remaniements peuvent prendre deux formes différentes : recouvrements par apports de matériaux, ou au contraire, ablation d'une tranche de sol.

* En présence de niveaux archéologiques et/ou d'horizons enfouis, les recouvrements sont nets, faciles à mettre en évidence. Dans les podzols, ils ont pu se faire à partir de matériau podzolisé (à faible distance), ou, à plus grande distance, à partir de matériau ferrallitique provenant des versants. Dans certains cas cependant, en particulier pour les niveaux archéologiques protohistorique ou historique, les remaniements ne peuvent s'expliquer que par un enfouissement sur place, consécutif alors à une action anthropique, dont on a vu (Chapitre III) qu'elle reste durablement marquée dans les sols des loussékés, plus qu'à une activité biologique de la mésofaune (termites), relativement négligeable dans ces milieux qui lui sont peu propices.

En l'absence des indices que constitue la présence d'une industrie lithique, il est pratiquement impossible de mettre en évidence l'existence d'un quelconque remaniement, en raison de l'homogénéité même du matériau.

* L'ablation d'une tranche de sol est, par contre, difficile à déceler, sauf cas particulier : ainsi de PZO, où l'on a pu prouver que l'aliôs, horizon pédologique d'accumulation, a également été, à un moment donné de son histoire, une surface géomorphologique sur laquelle ont vécu des hommes. Ceci a nécessité, au vu des conditions présidant à la formation des aliôs, le décapage de la totalité des horizons qui le surmontaient. Rien n'interdit de penser que des ablations, plus partielles et impossibles à mettre en évidence, se sont produites localement.

2.- Pérennité des sites de podzolisation

Une apparente contradiction existe entre morphogénèse des paysages et pédogénèse (au sens de EHRART (1956) : biostasie et rhexistasie). Divers indices permettent pourtant d'estimer que le paysage général n'a pas énormément varié depuis l'individualisation des formes de relief du Maluékien ; les remaniements qui ont affecté les sols et les paysages ont plus consisté en retouches plus ou moins importantes, qu'en bouleversements radicaux. Il y a eu, depuis le Njilien, une relative pérennité des sites de podzolisation. Nous prendrons les deux exemples de PZO et Gangalingolo, pour illustrer ces propos.

* PZO : l'aliôs, formé au Njilien, a été entièrement décapé, puis recouvert. La reprise de la podzolisation, au Kibangien, a abouti à la formation d'un horizon A₂ de plus de 4 m d'épaisseur par endroits, à partir de matériau ferrallitique. Il n'y a certes pas juxtaposition parfaite entre l'aliôs de paléosol et les horizons éluviaux. Mais la superposition de deux phases de podzolisation hydromorphes, aussi éloignées dans le temps, n'aurait pas été possible sans une grande conservation du paysage.

* Gangalingolo : Dans ce lousséké, les marigots ont un tracé en baïonnette, qui souligne les accidents tectoniques (Figure 13). Ils courent pourtant sur l'aliôs, qui a donc, lui aussi, gardé le souvenir de ces accidents structuraux. Leur lit se situe là où la surface de l'aliôs est le plus bas, et correspond ainsi, de toute évidence, à l'ancien axe d'écoulement des eaux du Njilien, donc pendant la formation des horizons d'accumulation. L'aliôtisation a fossilisé le tracé antérieur du réseau hydrographique.

On rappellera également la relative stabilité du paysage au Léopoldvillien, comme en témoigne l'absence - au moins apparente - de remaniements au cours de cette période.

Cette pérennité des paysages n'est pas toujours aussi totale :

- ainsi, entre le plateau de Djambala et celui de Nsa, se trouve un lousséké en position de col. De part et d'autre partent, en contrebas et en directions opposées, deux rivières. Un tel cas de figure ne peut s'expliquer que par une inversion du paysage.

- de même, on rappellera les observations que nous avons faites le long d'un méandre de la Louna (Chapitre IX-II-B), qui entaille la berge sur près de 10 mètres d'épaisseur, et qui a pratiquement complètement démantelé un lousséké, dont ne subsiste qu'une relique de A₂, lui-même recouvert par du matériau ferrallitique non transformé.

Ces deux cas sont extrêmes, car, dans l'ensemble, la tendance semble plus à la conservation, ou mieux à la fossilisation des paysages, sur lesquels s'effectuent des retouches plus ou moins importantes, liées à des phénomènes stationnels. La présence de l'aliôs, horizon induré, a certainement contribué à la conservation du paysage.

B.- Chronologie du quaternaire du Stanley-Pool

1.- Aspects paléogéographiques

a) Climats

La plupart des espèces récoltées à Gangalingolo sont actuellement réfugiées dans les Monts de Cristal gabonais. Il paraît donc raisonnable d'estimer que le climat actuel de cette région est proche de celui qui régnait au Njilien dans la région de Brazzaville. Ceci implique notamment une pluviosité (> 1 800 mm) plus importante que l'actuelle (1 400 mm). D'autre part, l'existence prévisible d'une saison sèche, indispensable à la podzolisation (création d'une zone de battement de nappe), se trouve ainsi également attestée. Il apparaît dès lors que la terminologie d'"isopluvial", due à BERNARD (1962), et souvent employée pour désigner le climat du Njilien (GIRESSE, 1978, par exemple), ne peut être utilisée. Ces résultats vont dans le même sens que des observations effectuées dans la Cuvette congolaise (DELIBRIAS et al., 1983 ; GIRESSE et LANFRANCHI, 1984), et qui attestent également de la permanence d'une saison sèche depuis le Njilien.

Pour ce qui est du Kibangien, la reprise générale, bien que discrète dans l'ensemble, de la podzolisation (formation de l'horizon B_{21h}) dès 12 000 BP, plaide en faveur d'un climat également plus humide que l'actuel, ce qui est en accord avec les variations climatiques mises en évidence sur le littoral congolais (CARATINI et GIRESE, 1979).

b) Botanique

Les variations des climats ont évidemment exercé une action sur la flore.

Au Njilien, la formation des alios s'est faite sous l'influence d'une végétation forestière. La forêt paraît ainsi, tout comme sur le littoral (CARATINI et GIRESE, 1979), plus étendue qu'actuellement. Y a-t-il eu pour autant un manteau forestier continu couvrant l'ensemble des formations batéké ? Il est bien difficile de répondre à cette question. D'une part, les précipitations caractérisant le Njilien semblent bien plus élevées que le seuil retenu par AUBREVILLE (1962) comme limite de la reprise forestière (soit 1 400 mm), mais d'autre part, les végétaux attribués à cette période, et provenant de la Cuvette congolaise, sont des espèces de forêts claires ou de savanes arborées (DECHAMPS, inédit). Il semblerait donc qu'il faille concevoir une mosaïque de forêts-galeries plus étendues qu'actuellement le long des cours d'eau (sur toute les zones de podzols notamment) et de savanes arborées ou de forêts claires ailleurs. Une végétation donc plus luxuriante que l'actuelle, mais pas fondamentalement différente.

D'autre part, et bien qu'en l'absence de données palynologiques nous ne puissions l'affirmer de façon certaine, il semble que dans les zones où se sont développés les podzols, deux végétations successives se soient développées : une végétation de forêt hygrophile, puis une forêt ombrophile, témoignant d'une amélioration du drainage externe et/ou d'un relatif assèchement du climat. Cette dernière végétation est celle récoltée à Gangalingolo, et qui a prélué à l'induration en alios des accumulations humiques.

Après la savanisation, voire la steppisation, qui caractérise le Léopoldvillien, on assiste, au Kibangien, à une reprise forestière. Celle-ci ne paraît cependant pas aussi importante que celle du Njilien. Si le $\delta^{13}C$ de l'horizon B_{21h} de Gangalingolo est assez typiquement forestier, celui de PZO traduit plus un mélange d'espèces forestières et graminéennes. Ce mélange de végétation semble encore se faire sentir sur la formation des B_h en bandes.

Il apparaît ainsi que la végétation actuelle, steppique, des loussékés, est une végétation relativement récente, actuelle ou subactuelle. Le relatif assèchement du climat depuis 3 000 ans a peut-être joué un rôle dans son apparition (encore que, dans le cas des loussékés hydromorphes comme celui de Gangalingolo, l'assèchement relatif ne s'est pas trop fait sentir), mais il semble surtout que cette végétation provienne d'une dégradation du milieu par l'homme, par action généralisée des brûlis notamment. Elle serait alors à relier aux migrations bantoues, peuples arrivés au Congo il y a moins de 2 000 ans.

c) Géomorphologie

Cette étude des podzols et de la podzolisation nous a également permis d'apprécier certaines caractéristiques de l'évolution géomorphologique du Stanley-Pool au cours des 70 derniers millénaires. Les ayant déjà signalées dans ce chapitre, nous nous contenterons d'en rappeler ici les caractères principaux :

- Individualisation, au Maluekien, des formes de relief sur lesquels se sont développés les podzols.
- Relative stabilité des paysages depuis le Njilien, si on excepte l'enfoncement des niveaux de base.
- Enfin, fait plus nouveau, insertion des remaniements de sols dans les périodes climatiques les plus humides.

2.- Aspects chronologiques

Cette étude nous a également permis de préciser certaines limites chronologiques des différentes périodes climatiques, qui ont affecté le Stanley-Pool lors des 70 derniers millénaires.

a) Limite Maluekien-Njilien

La limite entre ces deux périodes est souvent fixée à 40 000 ans (GIRESSÉ, 1978) en raison de l'existence d'une phase de transgression ayant débuté à cette période sur le littoral. La datation obtenue sur la partie médiane de l'aliôs de Gangalingolo (soit $38\,500 \pm 2\,000$ BP) est tout à fait compatible avec cette limite.

b) Limite Njilien-Léopoldvillien

Diverses dates ont été avancées comme limite entre ces deux périodes (Cf. Chapitre I). C'est généralement vers 30-35 000 BP que l'on place cette inversion climatique. Les racines récoltées à Gangalingolo, datées $\geq 30\,000$ BP (et vraisemblablement $\approx 30\,000$ BP), les âges moyens des matières organiques de la partie supérieure de l'aliôs ($29\,400 \pm 800$ BP) permettent de fixer la limite du Njilien vers 30 000 BP.

c) Limite Léopoldvillien-Kibangien

Les travaux de GIRESSÉ et al. (1982) ont permis de dater assez précisément le début du Kibangien à 12 000 BP sur la zone littorale. Dans le Stanley-Pool, De PLOEY (1969), cité par GIRESSÉ et LANFRANCHI (1984), estimait que l'aridité a pu perdurer jusque vers 6 000 BP. La reprise de la podzolisation, preuve d'une réhumidification du climat, est cependant attestée depuis au moins 10 400 ans par la datation effectuée sur les matières organiques de l'horizon B_{21h}. S'agissant d'un âge moyen, il paraît en fait logique d'estimer que la podzolisation a également débuté vers 12 000 ans.

L'ensemble des limites des phases climatiques paraît ainsi logiquement proches de celles attestées sur le littoral, d'où proviennent les données les plus complètes et les plus précises. Elles se raccordent également à des données plus fragmentaires, connues dans la Cuvette congolaise (DELIBRIAS et al., 1983) et le Niari (GIRESSE et al., 1981).

Le tableau XXII synthétise l'ensemble des conditions écologiques de la podzolisation sur sables batéké.

Tableau XXII. - Bilan des conditions de milieu de la podzolisation sur sables Batéké.

	Conditions stationnelles	Conditions climatiques	Hydromorphie	Végétation	Correspondances	Autres événements (Pool)
(1) Elimination du fer	Drainage latéral	Humide	Anaérobie	Hydromorphe	40 000	
(2) Podzolisation I	Fort battement de nappe Drainage latéral faible	Humide, contrasté	Anaérobie-aérobie	Forêt hygrophile	NJILIEN	Entaillement terrasse maloukienne
(3) Induration alios	Assèchement relatif	Humide, contrasté	Aérobie-anaérobie	Forêt mésophile	30 000	
			(Aérobie)	(Savanes, steppes)	LEOPOLDVILLIEN	Dépôt terrasse
(4) Podzolisation II	Nappe perchée battante Fort drainage latéral	Humide (contrasté)	Anaérobie-aérobie	Forêt claire ?	12 000 KIBANGIEN	Entaillement terrasse leopoldv.
(5) Podzolisation III	Milieu exondé	Humide (contrasté)	Aérobie	Forêt claire	-----3 000 ? ?	
(6) Lousséké hydromorphe	Nappe perchée battante Fort drainage latéral	Humide (contrasté)	Anaérobie-aérobie	Steppe hydromorphe Galerie forestière	ACTUEL	Anthropisation du milieu
(7) Lousséké sec	Milieu exondé	Humide (contrasté)	Aérobie	Steppe sèche, localement savane		

CONCLUSION

La podzolisation qui a affecté les loussékés présente un certain nombre de particularités :

* elle est ancienne, fossile, comme le montre la disharmonie entre ses environnements successifs et le paysage actuel de lousséké,

* elle s'est effectuée de façon discontinue dans le temps, en étroite liaison avec les variations climatiques, sur des sites qui ont perduré depuis 40 000 ans,

* l'existence d'une phase principale de podzolisation entre 40 000 et 30 000 BP montre que de nombreuses conditions stationnelles doivent se conjuguer pour que l'intensité de la pédogénèse soit maximale : présence d'une nappe d'eau battante et de matériau sableux sont des conditions, certes nécessaires, bien connues, mais un drainage latéral faible et l'existence d'une végétation forestière sont également indispensables.

D'autre part, que ce soit sous forme de niveaux archéologiques, de restes végétaux, parfois conservés dans ces milieux relativement abiotiques, ou tout simplement de matière organique constituant les horizons d'accumulation, les podzols gardent des traces des différents événements qui les ont affectés. Ils sont, en ce sens, d'excellents témoins des variations de l'environnement, auxquelles ils réagissent relativement rapidement. Cela a pu être montré dans d'autres milieux, notamment par DIMBLEBY (1962) et GUILLET (1972). Les loussékés n'échappent pas à cette règle. Leur intérêt pour l'étude des paléomilieux est donc grand. Les résultats présentés ici (chronologie du Quaternaire, paléogéographie) en sont la preuve évidente.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Pour dresser un bilan de ce travail, nous avons hiérarchisé les conclusions en fonction des échelles d'observation et de leur importance.

I.- LES LOUSSEKES ET LA PODZOLISATION SUR SABLES BATEKE

A.- L'unité de paysage lousséké

Les loussékés constituent une unité de paysage caractéristique du pays batéké. Quelques critères simples permettent de la définir :

* Localisés dans les points bas des reliefs, ils désignent des dépressions fermées sur les plateaux, des fonds de vallées et des terrasses pour les zones de collines.

* Les sols de l'unité sont des paléopodzols hydromorphes, sujets ou non à une actuelle hydromorphie secondaire, postérieure à la différenciation podzolique, à l'aliotisation notamment.

* La végétation dominante est une steppe graminéenne à *Loudetia simplex*. Il s'agit d'une végétation paraclimax, conséquence d'une action anthropique (brûlis) sur un sol très pauvre. Dès que l'influence des brûlis s'atténue, une végétation plus dense, voire arbustive, peut apparaître.

* La pression anthropique sur les paysages transparait non seulement par ces brûlis, mais par une utilisation étonnamment dense et variée, de la Préhistoire à nos jours : proches des points d'eau, les loussékés ont toujours été des lieux attractifs pour l'homme. Cette utilisation peut rester profondément marquée dans les paysages et les sols.

* Les variations d'hydromorphie permettent de distinguer deux sous-unités, selon la présence ou l'absence d'une nappe perchée secondaire : le lousséké sec, à paléopodzols à mull acide et steppé sèche, lorsque la nappe est absente ou profonde; le lousséké hydromorphe, lorsque la nappe baigne pendant un temps plus ou moins long les horizons supérieurs des paléopodzols dont l'humus est alors sous la dépendance des régimes d'engorgement.

* Les deux types de loussékés caractérisent assez uniformément l'ensemble des formations batéké, mais leur fréquence varie selon la zone géographique considérée : dans les collines drainées vers le Stanley-Pool, les loussékés secs prédominent, tandis que dans les collines drainées vers la Cuvette congolaise et sur les plateaux, abondent les loussékés hydromorphes.

Le paysage lousséké est en fait l'aboutissement d'une longue évolution géomorphologique, pédologique et floristique. Le paysage tel que nous le connaissons actuellement s'est individualisé à une époque relativement récente.

B.- Histoire de la podzolisation

Les podzols qui occupent les formations batéké sont anciens et fossiles : la podzolisation s'est échelonnée sur 40 000 ans. Plusieurs phases successives de pédogénèse ont pu être précisées, mais la phase principale de podzolisation s'est déroulée entre 40 000 et 30 000 ans BP, au Njilien, qui correspond à une brève période climatique humide.

Les résultats que nous avons mis en évidence dans la région de Brazzaville semblent pouvoir être étendus à l'ensemble des formations batéké. Ils montrent, en particulier, que l'écologie et la végétation actuelle ne permettent rien de saisir les conditions de la genèse et de la forte différenciation des profils de podzols humiques.

C.- Mécanismes de la podzolisation

Nous avons montré que la formation des podzols a été discontinue, en phases successives dans le temps. La podzolisation est une podzolisation hydromorphe, sur laquelle ont pu se surimposer ultérieurement, en milieu drainé, des phénomènes secondaires (B_h en bandes). Elle présente un certain nombre de points communs avec la podzolisation hydromorphe en climat tempéré (RIGHI, 1977) : élimination du fer, importance des complexes Al-matière organique, formation de l'aliol au niveau d'une zone de battements de nappe, induration dans les zones les moins hydromorphes, micromorphologie de l'aliol ..., et même avec la podzolisation tempérée en milieux drainés très sableux. Nous avons en effet pu montrer que la présence d'une végétation forestière était indispensable à la podzolisation des sables batéké, fait nouveau en milieu tropical, mais qui paraît logique au vu des quantités de matière organique contenues dans les horizons spodiques, où les apports de matière organique dans les B_h ont pu dépasser 220 kg/ha/an, ce qui est considérable, et n'aurait pu se faire sans l'existence d'une végétation luxuriante (N.B. : Aux USA, STONE et Mc FEE (1965) citent des maximums de 100 kg/ha/an, en conditions très favorables).

Nous avons également pu opposer la dynamique actuelle, résiduelle, de ces sols reliques, à une intense différenciation ancienne et fossile. Cette dynamique actuelle ne semble porter que sur l'évolution des humus en fonction des gradients d'hydromorphie (et, peut-être, sur des phénomènes de bordure, d'extension et d'importance réduites). Les podzols de loussékés sont des sols très évolués, dans lesquels il ne reste plus rien à podzoliser. Il est, à la limite, possible de considérer les A_2 comme des roches-mères, sur lesquelles se développent des sols minéraux bruts et des sols hydromorphes.

II.- LE PAYS BATEKE ET LE CONGO

A.- Evolution paléogéographique du Stanley-Pool

Les podzols humiques à profils très développés des loussékés sont des témoins de la stabilité des paysages. En effet, leur étude a également permis de préciser l'évolution paléogéographique du Stanley-Pool, au cours des 40 derniers millénaires. Nous avons montré qu'il y avait eu, dans l'ensemble, une relative stabilité du paysage, affecté par des retouches plus ou moins importantes, mais rarement bouleversements réels (importance des phénomènes stationnels au sein d'une même évolution générale).

Les remaniements qui ont affecté les sols sont des transports latéraux de matière, ponctuels dans le temps, ponctuels dans l'espace, violents, certainement liés à des pluies exceptionnelles provoquant des transports en masses plus ou moins importantes. Ces remaniements se sont essentiellement produits pendant les périodes climatiques humides, et non pendant les périodes plus arides, a priori plus favorables à l'érosion.

Pour ce qui est de l'évolution climatique, le Njilien apparaît comme une période plus humide que l'actuelle. La permanence d'une saison sèche, nécessaire à la podzolisation (création d'une zone de battements de nappes), y est attestée. La forêt couvrait, à cette époque, des surfaces plus importantes qu'actuellement, sans que l'on puisse préciser si elle était stationnelle (forêts-galeries) ou généralisée.

B.- Chronologie du Quaternaire au Congo

Les phases paléoclimatiques du Stanley-Pool, dont nous avons pu préciser l'action sur la pédogénèse, paraissent en totale coïncidence avec les épisodes mis en évidence sur le littoral (travaux de GIRESSÉ *et al.*) et dans la Cuvette (DELIBRIAS *et al.*, 1983). La poursuite de l'étude des podzols de loussékés devrait permettre de préciser la compréhension des milieux continentaux des derniers épisodes quaternaires, pour le moment encore bien moins connus que les environnements sédimentaires marins qui leur sont contemporains.

C.- La podzolisation au Congo

Bien que nous n'ayons qu'effleuré le sujet, nous avons posé des jalons permettant de comparer la podzolisation des formations batéké et celle de la plaine littorale. Il est apparu que les podzols qui se développent sur le littoral sont fondamentalement différents de ceux des loussékés, par leur répartition, leur position topographique, leur morphologie. En outre, leur formation semble s'inscrire dans un contexte relativement récent, actuel ou subactuel, et ce, sans que l'on puisse pour le moment proposer d'explication réellement satisfaisante à l'existence de ces deux domaines distincts de podzolisation.

III.- LES PODZOLS TROPICAUX

Malgré un nombre d'études assez important, les podzols tropicaux demeurent un milieu relativement mal connu. Peu d'études précises leur ont été consacrées. Deux domaines différents de podzolisation semblent se dégager : d'une part, les plaines littorales, où les podzols se forment en position sommitale sous l'influence d'une nappe perchée (TURENNE, 1975), d'autre part, le domaine continental, où ils se forment dans les vallées sableuses, sous l'influence d'une nappe phréatique battante.

Par ailleurs, notre étude a mis l'accent sur l'existence de deux grands types de podzols tropicaux : les podzols à genèse hydromorphe actuelle, et les podzols à genèse fossile. Nous proposons ainsi de distinguer, au sein d'une sous-classe de podzols tropicaux nouvellement créée (justifiée par la très large répartition des podzols tropicaux), deux grands groupes : d'une part les podzols hydromorphes tropicaux à genèse actuelle, d'autre part les paléopodzols hydromorphes, à nappe perchée secondaire ou non, dont l'environnement actuel ne permet pas de comprendre la genèse, et qui sont des paléoclimax stationnels, semblant avoir une distribution très large.

Pour le moment, et en toute rigueur, seuls les podzols développés sur sables batéké au Congo, au Gabon, au Zaïre, peuvent être rangés dans ce groupe. Mais un certain nombre d'indications relevées dans différentes descriptions permettent d'estimer que d'autres podzols sont également dans ce cas. Ainsi, certains podzols du Cambodge (PLATTEBORZE, 1969), du Brésil (FLEXOR *et al.*, 1975), de Colombie (FAIVRE *et al.*, 1975), ceux de Zambie (BRAMMER, 1973) semblent bien être des podzols fossiles, ce qu'une caractérisation analytique (^{14}C , ^{13}C) permettrait sans doute de prouver.

IV.- ASPECTS METHODOLOGIQUES

A.- Intérêt d'une démarche pédo-archéologique

L'étude des conditions d'environnement actuel de sols hérités d'une histoire paléoclimatique longue, complexe et contrastée, peut ne pas être une clé suffisante pour comprendre la formation de ces sols. Cependant, les podzols gardent une certaine mémoire de leur histoire, et les processus de la podzolisation se prêtent bien à des approches de reconstitution, souvent indirectes, mais très démonstratives. Ainsi, DIMBLEBY (1962), en se servant de la présence de tumulus, GUILLET (1972) par l'approche palynologique, ont pu mettre en évidence la succession de plusieurs phases de podzolisation dans les podzols de landes. Nous avons procédé d'une démarche analogue, notamment en confrontant les deux manières d'aborder le sol du préhistorien (succession de couches) et du pédologue (entité biologique).

L'exemple du profil particulier du podzol PZO illustre bien cette démarche pédo-archéologique : le choix d'un "site", dont le sol est très différent de l'orthotype, ne procède pas d'une approche habituelle en pédologie, de même que l'échelle des fosses ou la prise en compte de l'outillage préhistorique. Par contre, l'approche pédologique a permis de mettre en évidence une phase de décapage de l'aliôs (ce qu'un raisonnement de type archéologique, en succession de strates, n'eut pas révélé), suivie d'une reprise de la pédogénèse.

C'est en confrontant les apports respectifs des deux sciences, que nous avons pu mettre en évidence les différentes phases de pédogénèse et de remaniements qui ont affecté les podzols. Cette façon d'appréhender les sols ne peut évidemment être généralisée : il est vrai que nous avons bénéficié d'un élément favorable et déterminant, en l'occurrence la présence d'une industrie lithique. Encore fallait-il qu'elle puisse être mise en rapport avec des événements pédologiques particuliers, ce qui signifie qu'elle devait être suffisamment ancienne pour recouvrir des phases climatiques différentes, mais assez récente pour que l'action de ces épisodes puisse être mise en évidence. Les pays d'Afrique Centrale, où diverses industries, datées de 70 derniers millénaires, recouvrant donc quatre périodes climatiques différentes, abondent dans les sols, paraissent à cet égard un milieu privilégié pour ce genre d'approche, non seulement dans les podzols, mais également dans les sols ferrallitiques à stone-line (SCHWARTZ et LANFRANCHI, 1984, par exemple).

B.- Podzols et Quaternaire

L'"approche indirecte" des loussékés, c'est-à-dire, non seulement cette démarche pédo-archéologique, mais également les datations au ^{14}C , les compositions isotopiques ^{13}C , les déterminations des espèces végétales contenues dans les aliôs, ont mis en évidence deux faits qui nous paraissent fondamentaux :

* nous avons ainsi pu préciser les conditions écologiques de la formation de certains podzols tropicaux, conditions qui demeurent d'une façon générale encore très mal connues,

* parallèlement, dans les milieux tropicaux humides, l'environnement quaternaire continental est souvent plus mal connu que les environnements sédimentaires marins contemporains. Les podzols, qui servent de marqueurs, de témoins des différents événements dont ils ont conservé la trace, contribuent à réduire ces inégalités de connaissance.

Il nous paraît ainsi extrêmement important de poursuivre, ou d'entreprendre une étude des podzols tropicaux dans cette même optique à la fois quaternariste et pédologique, afin de mieux comprendre la dynamique spatiale et historique des milieux intertropicaux.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

ALTMULLER (H.J.), 1962 - Beitrag zur mikromorphologischen Differenzierung von durchschlämmter Parabraunerde. Podsol braunerde und Humus-podzol. Zeitsch. Pflanz. Düng. Bodenk., 98, 247-258.

ANDRIESSE (J.P.), 1968 - A study of the environment and characteristics of tropical podzols in Sarawak (East Malaysia). Geoderma, 2, 201-226.

ANDRIESSE (J.P.), 1969 - The development of the podzol morphology in the tropical lowlands of Sarawak (Malaysia). Geoderma, 3, 261-279.

ASECNA, 1964 - Aperçu sur le climat du Congo. Asecna, représentation en R.P. du Congo, service météorologique, 23 p.

ASTIER (J.L.), 1982 - Les ressources en eau dans les plateaux Batéké. In : Identification de projets d'élevage dans les plateaux Batéké, Congo. FAO, Rome, TCP/PRC 2201, 37 p.

Atlas du Congo, 1969, ORSTOM, Paris.

Atlas Jeune Afrique, 1977 - R.P. du Congo (sous la direc. de P.Vennetier), Paris, 64 p.

AUBERT (G.), 1963 - La classification des sols. La classification pédologique française (1962). Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., 3, 1-7.

AUBERT (G.), 1965 - Classification des sols ; tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., III (3), 269-288.

AUBREVILLE (A.), 1962 - Savanisation tropicale et glaciations quaternaires. Adansonia, Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, II (1), 16-84.

AUBREVILLE (A.), 1970 - Flore du Cameroun. Tome 9 : Légumineuses-césalpinioïdés. Muséum d'Histoire Naturelle de Paris.

BABET (V.), 1933 - Exploration de la partie méridionale des plateaux Batéké. Bull. Serv. Mines A.E.F., 1947, 3, 21-56.

BABET (V.), 1935 - Les premiers mollusques fossiles recueillis en A.E.F. dans les formations du bassin intérieur du Congo. C.R. Acad. Sc. Paris, 200, 474-475.

BABET (V.), 1937 - Introduction à l'étude des sols de l'A.E.F. Sur les caractères physiques généraux des sols en rapport avec la roche-mère. Bull. Serv. Mines de l'A.E.F., 1947, 3, 57-72.

BALESDENT (J.), 1982 - Etude de la dynamique de l'humification de sols de prairies d'altitude (Haut-Jura) au moyen des datations ^{14}C des matières organiques. Thèse Doct. Ing., Univ. Nancy I, 90 p.

BALESDENT (J.) et GUILLET (B.), 1982 - Les datations par le C-14 des matières organiques du sol. Contribution à l'étude de l'humification et du renouvellement des substances organiques. Bull. A.F.E.S., Science du sol, 2, 93-112.

BAUD (L.), 1954 - Notice explicative sur la feuille Franceville-Est. Carte géologique de reconnaissance au 1/500 000. Imp. Nat. Paris, 34 p. + 1 carte h.t.

BECCARI (O.), 1904 - Wanderings in the great forest of Borneo. F.H.H. Guille-mard, London.

BERNARD (E.A.), 1962 - Théorie astronomique des pluviaux et interpluviaux du Quaternaire africain. Acad. Royale Soc. Sci., Outre-Mer, Classe Sci. Nat., Méd (1), 232 p.

BLANCANEAUX (P.), THIAIS (J.L.), LAPLANCHE (G.), ROSTAN (J.J.) et BERGRAVE (St.J.), 1973 - Podzols et sols ferrallitiques dans le Nord-Ouest de la Guyane française. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., XI (2), 121-154.

BLANCHET (R.), 1959 - C.R. Acad. Agric., 45, 247-252.

BLEACKLEY (D.) et KHAN (E.J.A.), 1963 - Observations on the white-sand areas of the berbice formation, British Guiana. J. Soil Science, 14 (1), 44-51.

BOCQUIER (G.) et BOISSEZON (P. de), 1959 - Note relative à quelques observations pédologiques effectuées sur le plateau Batéké (région du Pool, Républ. du Congo). ORSTOM, Brazzaville, 19 p, Doc. Ronéo.

BOISSEZON (P. de), 1963 - Les sols des plateaux de Djambala et Koukouya et de la zone avoisinante des hautes collines. ORSTOM, Brazzaville, 93 p. + 2 cartes h.t.

BOISSEZON (P. de) et JEANNERET (J.C.), 1965 - Les sols de la coupure Mayama. ORSTOM, Brazzaville, 111 p. + 1 carte h.t.

BOISSEZON (P. de) et GRAS (F.), 1970 - Notice explicative n° 44 : Carte pédologique Sibiti-Est. Républ. du Congo; Brazzaville, 1/500 000. ORSTOM Paris, 144 p. Carte topographique longue, complexe et contrastée, peut ne pas être suffisante pour couvrir la formation de ces sols. Cependant.

BOUBAKER (H.), 1983 - Etude analytique et expérimentale des relations phosphore-oxyhydroxydes ferriques dans quelques sols calcimagnésiques de Tunisie. Thèse Doct. 3ème Cycle, Univ. Nancy I, 83 p.

BOULET (R.), FRITSCH (E.) et HUMBEL (F.X.), 1979 - Les sols des terres hautes et de la plaine côtière ancienne en Guyane française septentrionale : organisation en systèmes et dynamique actuelle de la couverture pédologique. ORSTOM, Cayenne, n° P. 182.

BOULET (R.), CHAUVEL (A.), HUMBEL (F.X.) et LUCAS (Y.), 1982a - Analyse structurale et cartographie en pédologie. I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les études de toposéquence et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XIX (4), 309-321.

BOULET (R.), HUMBEL (F.X.) et LUCAS (Y.), 1982b - Analyse structurale et cartographie en pédologie. II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XIX (4), 323-339.

BOULET (R.), HUMBEL (F.X.) et LUCAS (Y.), 1982c - Analyse structurale et cartographie en pédologie. III. Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XIX (4) 341-351.

BOYER (J.), 1982 - Les sols ferrallitiques. Tome X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols ferrallitiques. Initiation-Document technique n° 52, ORSTOM Paris, 384 p.

BOYER (Ph.), 1959 - De l'influence des termites de la zone intertropicale sur la configuration de certains sols. Revue de Géomorphologie Dynamique, X, (1-2 et 3-4), 41-44.

BRAMMER (H.), 1973 - Podzols in Zambia. Geoderma, 10, 249-250.

BRION (J.C.), DABIN (B.), GAVINELLI (E.), PELLÉUX (P.) et VERDONI (J.) - Technique d'extraction et de dosage de la matière humique du sol. ORSTOM, Serv. Scient. Centraux, Bondy, 17 p.

BRZESOWSKY (W.J.), 1962 - Podzolic and hydromorphic soils on a coastal plain in the Cameroon Republic. Neth. J. Agric. Sci., 10, 2.

BUURMAN (P.) et Van REEUWIJK (L.P.), 1984 - Protoimogolite and the process of podzol formation. A critical note. J. Soil Science, 35 (3), 447-452.

CABU (F.), 1937 - La préhistoire congolaise. Ph.D. Thesis, Liège.

CAHEN (D.) et MOEYERSONS (J.), 1977 - Subsurface movements of stone artefacts and their implication for the prehistory of Central Africa. Nature, 266 (5605), 812-815.

CAHEN (D.) et MORTELMANS (J.), 1973 - Un site tshitoliien sur le plateau des Batéké (Rép. du Zaïre). Musée Royal de Afrique Centrale, Tervuren, Belgique. Ann. Sér. in 8° Sc. Hum., n° 81, 46 p.

CAHEN (L.) et LEPERSONNE (J.), 1948 - Notes sur la géomorphologie du Congo Occidental. Ann. Musée du Congo Belge, Sci. Géol., 1, Tervuren, Belgique, 95p.

CAILLEUX (A.) et TRICART (J.), 1959 - Initiation à l'étude des sables et des galets. Centre Doc. Univ., Paris.

CARATINI (C.) et GIRESSE (P.), 1979 - Contribution palynologique à la connaissance des environnements continentaux et marins du Congo à la fin du Quaternaire. C.R. Acad. Sc. Paris, 288 D, 375-382.

CHEVALLIER (.), GIRESSE (P.), MASSENGO (A.) et BÔTOKOU (G.), 1972 - Le site géologique de Brazzaville ou contribution à une notice explicative de la carte géologique de Brazzaville. Ann. Univ. Brazzaville, 8(c), 17-42.

COLLINET (J.), 1969 - Contribution à l'étude des "stone-lines" dans la région du Moyen Ogooué (Gabon). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VII (1), 3-42.

- CONESA (A.P.), FARDEAU (J.C.) et SIMON-SYLVESTRE (G.), 1979 - Le phosphore et le soufre. In : Pédologie. Tome 2 : Constituants et Propriétés du sol. M. Bonneau et B. Souchier éd., Masson Paris Publ., 395-407.
- COSSON (J.), 1955 - Notice explicative sur les feuilles Pointe-Noire et Brazzaville. Carte géologique de reconnaissance au 1/500 000. Gouv. Gén. AEF, Direction des Mines AEF.
- C.P.C.S., 1967 - La classification française des sols. E.N.S.A. Grignon, 96 p.
- DABIN (B.), 1971 - Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. Bull. A.F.E.S., Science du sol, 1, 47-63.
- DABIN (B.), 1981 - Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVIII (3-4), 197-215.
- DADET (P.), 1969 - Notice explicative de la carte géologique de la république du Congo Brazzaville au 1/500 000. Zone comprise entre les parallèles 2° et 5°S. Mémoires BRGM n° 70.
- DAGET (P.) et GODRON (M.), 1974 - Vocabulaire d'écologie. Hachette Paris, 273 p.
- DAVIES, 1970 - Pedological aspect of movement in soils. In : "Sorptions and transport processus in soils". Soc. Chem. Industry Monogr., 37, London, 172-178.
- DE CONINCK (F.), 1980 - Major mechanisms in formation of spodic horizons. Geoderma, 24, 101-128.
- DE CONINCK (F.), RIGHI (D.), MAUCORPS (J.) et ROBIN (A.M.), 1973 - Origin and micromorphological nomenclature of organic matter in sandy spodosols. Soil Microscopy. Proc. IVth Int. Work Meet. on Soil Micromorphology, 263-280.
- DEINES (P.), 1980 - The isotopic composition of reduced organic carbon. In : Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol. 1, P. Fritz et J.C. Fontes ed., Elsevier Publ., 329-406.
- DELECOUR (F.), 1980 - Essai de classification pratique des humus. Pédologie, Gand, XXX (2), 225-241.
- DELHUMEAU (M.), 1975 - Carte pédologique de reconnaissance du Gabon au 1/200000. Feuille Fougamou. Notice explicative n° 59, ORSTOM Paris, 48 p.
- DELIBRIAS (G.), 1981 - La mesure des âges par le C-14. In : Préhistoire africaine. Mélanges offerts au doyen Lionel Balout, ADPF, Paris, 91-103.
- DELIBRIAS (G.), DUTIL (P.) et JUSTE (C.), 1966 - Premiers résultats de mesures d'âge de la matière organique de l'horizon d'accumulation des podzols humiques développés sur le sable des Landes. C.R. Acad. Sc. Paris, 263, 1300-1302.
- DELIBRIAS (G.), GIRESSE (P.), LANFRANCHI (R.) et LE COCQ (A.), 1983 - Datation de dépôts holorganiques quaternaires sur la bordure occidentale de la Cuvette Congolaise (Rép. du Congo) ; corrélations avec les sédiments marins voisins. C.R. Acad. Sc. Paris, 296, 463-466.

- DENIS (B.), 1967 - Etude pédologique d'une zone témoin. Région de Marchand. ORSTOM Brazzaville, 112 p. + 1 carte h.t.
- DENIS (G.), 1974 - Notice explicative n° 52 Carte pédologique au 1/200 000 Brazzaville-Kinkala, Rép. Pop. Congo. ORSTOM Paris, 101 p+ 1 carte h.t.
- DENIS (B.) et CHAMPS (G. de), 1970 - Les sols de la région de Brazzaville. ORSTOM Brazzaville, 93 p. + 3 cartes h.t.
- DE PLOEY (J.), 1963 - Quelques indices sur l'évolution morphologique et paléoclimatique des environs du Stanley-Pool (Congo). Studia Universitatis "Lovanium" n° 17, Ed. Université Kinshasa, 16 p.
- DE PLOEY (J.), 1965 - Position géomorphologique, genèse et chronologie de certains dépôts superficiels au Congo Occidental. Quaternaria, VII, 131-154.
- DE PLOEY (J.), 1969 - Report on the Quaternary of the Western Congo. Palaeogeology of Africa, 4, 65-68, Balkema (Cape-Town).
- DE PLOEY (J.) et Van MOERSEL (H.), 1963 - Contributions à la connaissance chronologique et paléogéographique des gisements préhistoriques des environs de Léopoldville (Congo). Studia Universitatis "Lovanium", Musée de Préhistoire, n° 19, 19 p.
- DE PLOEY (J.) et Van MOERSEL (H.), 1966- Chronologie préhistorique des environs de Léopoldville. Actes Vème Cong. panafricain de Préhistoire et de l'étude du Quaternaire, Museo archeologico de Tenerife, Islas Canarias, 219-224.
- DESCHAMPS (C.), 1979 - La méthode du carbone-14. Bull. AASNS, 66, 7-18.
- DESCOINGS (B.), 1960 - Les steppes loussékés de la zone de Gakouba (Plateau Batéké, Rép. Congo-Brazzaville). ORSTOM Brazzaville, 34 p.
- DIELS (L.) et HACKENBERG (C.), 1926 - Beiträge zur Vegetationskunde und Floristik von Südborneo. Bot. Jb., 60, 293-316.
- DIMBLEBY (G.W.), 1962 - The development of British Heathlands and their soils. Oxford Forestry Memoire, 23, 121 p.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1954 - Rôle de la silice colloïdale dans la formation de l'alié de trois sols vosgiens. Bull. A.F.E.S., 60, 234-236.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1977 - Pédologie. Tome I : Pédogénèse et classification. Masson Paris, 477 p. (2ème édition, 1983).
- DUVIGNEAUD (P.), 1949 - Les savanes du Bas-Congo. Essai de phytosociologie topographique. Lejeunia, Mém. n° 10, 192 p. (Paru en 1953).
- EHRART (H.), 1956 - La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique. Biostasie et rhexistasie. Masson, Paris, 90 p.
- FAIVRE (P.), ANDREUX (F.), ANNIBAL BURGOS (G.), 1975 - Podzoles y suelos podsolicos de la region de sabana de Torres (Santander). Suelos ecuatoriales, VII (1-2), 41-58.

FARMER (V.C.), 1984 - Distribution of allophane and organic matter in podzol B horizons : reply to Buurman and Van Reeuwijk. J. Soil Science, 35 (3), 453-468.

FAURE (H.), 1980 - Le cadre chronologique des phases pluviales et glaciaires de l'Afrique. In : Histoire générale de l'Afrique. Tome I : Méthodologie et Préhistoire africaine. Jeune Afrique, Stock, UNESCO, 409-434.

FEDOROFF (N.), 1979 - Organisation microscopique du sol. In : Pédologie. Tome 2. Constituants et propriétés du sol. M. Bonneau et B. Souchier édés. Masson, Paris Publ., 251-265.

FITZPATRICK (E.A.), 1971 - Pedology. A systematic approach to soil science. Oliver and Boyd, Edinbourg, 206 p.

FLEXOR (J.M.), OLIVEIRA (J.J. de), RAPAIRE (J.L.) et SIEFFERMANN (G.), 1975 - La dégradation des illites en montmorillonite dans l'altérisol de podzols tropicaux humo-ferrugineux du reconcavo bahianais et du Parâ. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XIII (1), 41-48.

FRANZMEIER (D.P.), WHITESIDE (E.P.), MORTLAND (M.M.), 1963 - Chronosequence of podzols in Northern Michigan. III. Mineralogy, micromorphology and net changes occurring during soil formation. Quarterly Bull. Michigan State Univ. 46 (1), 37-57.

GIRESE (P.), 1978 - Le contrôle climatique de la sédimentation marine et continentale en Afrique Centrale atlantique à la fin du Quaternaire. Problèmes de corrélation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 23, 57-77.

GIRESE (P.), 1981 - L'environnement structural et sédimentaire du plateau et de la côte du Congo à la fin du Quaternaire : une synthèse. Oceanis, 7 (4), 373-380.

GIRESE (P.), BONGO-PASSI (G.), DELIBRIAS (G.) et DUPLESSY (J.C.), 1982 - La lithostratigraphie des sédiments hémipélagiques du delta profond du fleuve Congo et ses indications sur les paléoclimats de la fin du Quaternaire. Bull. Sté. Géol. France (7), XXIV (4), 803-815.

GIRESE (P.) et LANFRANCHI (R.), 1984 - Les climats et les océans de la région congolaise pendant l'Holocène. Bilans selon les échelles et les méthodes de l'observation. Palaeoecology of Africa, 16, 77-88. J.A. Coetzee et E.M. Van Zinderen Bakker éd.

GIRESE (P.), LANFRANCHI (R.) et PEYROT (B.), 1981 - Les terrasses alluviales en République Populaire du Congo. Bull. ASSEQUA, 43-66.

GIRESE (P.) et LE RIBAUT (L.), 1981 - Contribution de l'étude exoscopique des quartz à la reconstitution paléogéographique des derniers épisodes du Quaternaire littoral du Congo. Quaternary Research, 15, 86-100.

GRACANIN (M.), 1951 - Pedologica III. Zagreb, Sholska Kajiga, 298 p.

GRAS (F.), 1970 - Surfaces d'aplanissement et remaniement des sols sur la bordure orientale du Mayombe. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VIII (3), 274-294.

GRASSE (P.P.), 1950 - Termites et sols tropicaux. Rev. Int. Bot. Appl., 337-338, 549-554.

GRASSE (P.P.) et NOIROT (C.), 1959 - Rapport des termites avec les sols tropicaux. Rev. Géom. Dyn., X (1-2 et 3-4), 35-39.

GUILLET (B.), 1972 - Relation entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 112 p.

GUILLET (B.), 1979 - Etude du renouvellement des matières organiques des sols par les radio-isotopes (C-14). In : Pédologie. Tome 2 : Constituants et propriétés des sols. M. Bonneau et B. Souchier eds., Masson, Paris Publ., 210-226.

GUILLET (B.) et ROBIN (A.M.), 1972 - Interprétation de datations par le ^{14}C d'horizons B_h de deux podzols humo-ferrugineux, l'un formé sous callune, l'autre sous chênaie-hêtraie. C.R. Acad. Sc. Paris, 274, 2859-2862.

GUILLOT (B.) et PEYROT (B.), 1979 - Etude du fonctionnement des vallées sèches du plateau de Mbé (Congo). Problèmes hydrologiques et morphologiques. Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., XVI (3), 205-231.

HARDON (H.J.), 1936 - Podsol profiles in the tropics. Natuurk. Tijdschr. Ned-Indië, 96, 25-41.

HAUMAN (L.), 1954 - Papilionacées : Dalbergieae. In : Flore du Congo Belge et du Ruanda-Urundi". INEAC, Bruxelles.

HEINZELIN (J. de), 1952 - Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du Bassin du Congo. Publ. Inst. Nat. pour l'Etude Agron. du Congo belge (INEAC), Bruxelles, 168 p.

HUMBEL (F.X.), 1964 - Etude de quelques dépressions circulaires à la surface d'un plateau sédimentaire en Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, II (3), 27-42.

JAMET (R.), 1969 - Carte pédologique de reconnaissance à 1/200 000, feuille Pointe-Noire, rapport explicatif. ORSTOM Brazzaville, 103 p. + 2 cartes h.t.

JAMET (R.) et RIEFFEL (J.M.), 1976 - Notice explicative n° 65 de la carte pédologique du Congo. Feuille Pointe-Noire, feuille Loubomo à 1/200 000. ORSTOM, Paris, 167 p. + 2 cartes h.t.

JEANROY (E.), 1983 - Diagnostic des formes du fer dans les pédogenèses tempérées. Evaluation par les réactifs chimiques d'extraction et apports de la spectrométrie Mössbauer. Thèse Doct. Univ., Univ. Nancy I, 168 p.

JENNY (H.), 1948 - Great soil groups in the equatorial regions of Columbia, South America. Soil Science, 66, 5-28.

JUSTE (C.), 1965 - Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du Sud-Ouest atlantique. Thèse Doct. Ing., Fac. Sc. Nancy, 142 p.

KLINGE (H.), 1966 - Verbreitung tropischer Tieflandspodsole. Naturwiss., 53, 442-443.

- KLINGE (H.), 1968 - Report on tropical podzols. FAO Rome, IV, 88 p.
- KLINGE (H.), 1969 - Climatic conditions in lowland tropical podzol areas. Tropical Ecology, 10 (2), 222-239.
- KOECHLIN (J.), 1961 - La végétation des savanes dans le sud de la république du Congo. Mém. ORSTOM n° 1, Paris, 310 p.
- KOUYOUMONTZAKIS (G.), LANFRANCHI (R.) et GIRESSE (P.), 1984 - Les datations radiométriques du Quaternaire de la République Populaire du Congo et des régions avoisinantes (Iles du Golfe de Guinée, Angola). A paraître in : Ann. Univ. Marien Gouabi, Brazzaville.
- LADMIRANT (H.), 1964 - Carte géologique à l'échelle du 1/200 000. Notice explicative de la feuille Léopoldville. Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, 66 p. + 1 carte h.t.
- LANFRANCHI (C.), 1980 - Descriptions de profils et analyses. Quartier de Bangongo, Brazzaville, République Populaire du Congo. D.E.A. d'Archéologie Préhistorique. Univ. Paris I, 9 p.
- LANFRANCHI (C.), 1984 - Etude des gisements préhistoriques de Brazzaville et de Kinshasa (R.P. du Congo et R.D. du Zaïre). Thèse 3ème Cycle, Paris I, 246 p.
- LANFRANCHI (R.), 1976 - Rapport des missions d'études et de recherches préhistoriques pour l'année 1975-1976. Laboratoire d'Anthropologie, diffusion restreinte. Univ. Brazzaville, 28 p.
- LANFRANCHI (R.), 1979 - Recherches préhistoriques dans la moyenne vallée du Niari (R.P. Congo). Thèse 3ème Cycle, Univ. Paris X, 675 p.
- LAPORTE (G.), 1962 - Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée Comilog. IRSC (ORSTOM) Brazzaville, 149 p.
- LEBEDEFF (V.), 1933 - Compte-rendu de l'étude rapide des terrasses du Congo et du Djoué. Mois de juin-juillet 1933. Gouv. Gén. AEF, Service des Mines, n° 645, 3 p.
- LE COCQ (A.), 1980 - Correspondance avec E. Guichard. ORSTOM Brazzaville. Diffusion restreinte, 18 p.
- LE COCQ (A.), BOSSENO (R.), à paraître - Carte morphopédologique au 1/200 000. Feuille Gamboma. ORSTOM Paris (ed. provisoire, diffusion restreinte, 1983).
- LEGIGAN (Ph.) et LE RIBAUT (L.), 1974 - Evolution des quartz dans un podzol humo-ferrugineux développé sur le sable des Landes. C.R. Acad. Sc. Paris, 279, 799-802.
- LE MARECHAL (A.), 1966 - Contribution à l'étude des plateaux batéké. Géologie, Géomorphologie, Hydrogéologie. ORSTOM Brazzaville, 42 p. + 4 cartes h.t.
- LENEUF (N.) et OCHS (R.), 1956 - Les sols podzoliques du Cordon littoral en basse Côte d'Ivoire. C.R. VIème Cong. Science du sol Paris, 529-532.

- LEONARD (J.), 1952 - Césalpiniaee : Cynometreae et Amherstieae. In : Flore du Congo belge et du Ruanda-Urundi. INEAC, Bruxelles.
- LEPERSONNE (J.), 1937 - Les terrasses du fleuve Congo au Stanley-Pool et leurs relations avec celles d'autres régions de la Cuvette congolaise. Inst. Royal colonial belge. Sect. Sci. Nat. et Méd., Mémoires Collect. in 8°, VI (2), 67 p.
- LEPERSONNE (J.), 1945 - La stratigraphie du système du Kalahari-Karoo au Congo Occidental. Bull. Serv. Géol. Congo Belge et Ruanda-Urundi, n° 1, 27-50.
- LE RIBAUT (L.), 1977 - L'exoscopie des quartz. Masson, Paris, 150 p.
- LEVEQUE (A.), 1969 - Le problème des sols à nappes de gravats. Observations et réflexions préliminaires pour le socle granitogneissique au Togo. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VII (1), 43-69.
- LEVEQUE (A.), 1979 - Pédogenèse sur le socle granitogneissique du Togo. Différenciation des sols et remaniements superficiels. ORSTOM, Trav. Doc. n° 108, 224 p.
- LIBBY (W.), 1962 - Radiocarbon dating. Univ. Chicago Press, 3rd Edition.
- LOEMBE (D.), 1978 - Les modalités de l'érosion sur le site urbain de Brazzaville en R.P. du Congo. Univ. Marien Gouabi, Fac. Lettres et Sci. Hum., Départ. Géographie, 121 p.
- LUCAS (Y.), BOULET (R.) et CHAUVEL (A.), 1983 - Transition latosol-podzol sur formation Barreiras dans la région de Manaus (A.M., Brésil). Comm. XIX Congr. brasileiro de Ciencia do solo, Curitiba, Brasil, 9 p.
- MAKANY (L.), 1976 - Végétation des plateaux Téké. Trav. Univ. Brazzaville, N° 1, 301 p.
- MAPANGUI (A.), 1977 - Etude des sols de la ferme d'Etat de Kinkala. ORSTOM, Brazzaville.
- MEYBECK (M.), 1978 - Note on dissolved elemental contents of the Zaïre River. Netherl. J. Sea Res., 12 (3-4), 293-295.
- MOHR (E.C.J.), VAN BAREN (F.A.) et VAN SCHUYLENBORGH (J.), 1972 - Tropical soils. A comprehensive study of their genesis. Mouton-IchtiarBarn-Van Hoeve, La Haye, 481 p. 3ème édit.
- MOLINIER (M.), THEBE (B.) et THIEBAUX (J.P.), 1981 - Données hydrologiques en R.P. du Congo. ORSTOM Brazzaville, 114 p.
- NICOLINI (P.) et SONET (J.), 1953 - Recherches des terrasses diamantifères du Congo. Rapport Direction des Mines AEF, R-8-10-1, 5 p.
- NYE (P.H.), 1955 - Some soils forming processes in the humid tropics. IV. The action of the soil fauna. J. Soil Science, 6 (1), 73-83.

- NYS (C.), 1975 - Un podzol humo-ferrugineux humifère sur le granite de Mille-vaches. Science du sol, Bull. A.F.E.S., 3, 207-211.
- ORSTOM, 1982 - Annuaire hydrologique de la République Populaire du Congo, année 1981. ORSTOM Brazzaville, 97 p.
- PELLEGRIN (F.), 1948 - Les légumineuses du Gabon. Mém. Inst. Etat Centre-Afr. n° 1. Larose, Paris.
- PERRIN (R.M.S.), WILLIS (E.H.) et HODGE (C.A.H.), 1964 - Dating of humus podzols by residual radiocarbon activity. Nature, 202 (4928), 165-166.
- PEYROT (B.), 1978 - Contribution à la géomorphologie de la République Populaire du Congo. Univ. Marien Gouabi, Brazzaville, Départ. Géographie. Diffusion interne.
- PLATTEBORZE (A.), 1969 - Contribution à l'étude des dépôts sableux anciens et des podzols de basses altitudes au Cambodge. Pédologie, Gand, XIX (3), 357-386.
- RAMANN (E.), 1911 - Bodenkunde. Springer Verlag, 3ème édit., Berlin, 619 p.
- RAPAIRE (J.L.) et TURENNE (J.F.), 1977 - Mesures d'activité spécifique de fractions de matière organique appliquées à l'étude de l'évolution des sols de Guyane. Soil Organic Matter Studies II, IAEA Vienna, 180-186.
- RICHARDS (P.W.), 1941 - Lowland tropical podzols and their vegetation. Nature, 3744, 129-131.
- RIGHI (D.), 1975 - Etude au microscope électronique à balayage de champ et au microanalyseur à sonde électronique des revêtements et des agrégats organiques d'horizons B spodiques. Bull. A.F.E.S., Science du sol, 4, 315-321.
- RIGHI (D.), 1977 - Genèse et évolution des podzols et des sols hydromorphes des Landes du Médoc. Thèse Doct. Etat, Univ. Poitiers, 144 p.
- RIGHI (D.) et GUILLET (B.), 1977 - Datations par le C-14 naturel de la matière organique d'horizons spodiques de podzols des Landes du Médoc (France). Soil Organic Matter Studies II, IAEA Vienna, 187-192.
- RIOU (C.), 1975 - La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale. Mém. ORSTOM, n° 80, Paris.
- RIQUIER (J.), 1948 - L'existence de podzols dans une région latéritique (Dunes de la Côte Est de Madagascar). ORSTOM Paris, 5 p. mult.
- RIQUIER (J.), 1969 - Contribution à l'étude des "stone-lines" en régions tropicale et équatoriale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VII (1), 70-110.
- ROBIN (A.M.), 1979 - Genèse et évolution des sols podzolisés sur affleurement sableux du Bassin Parisien. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 185 p.
- ROOSE (E.J.), 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Trav. Doc. ORSTOM n° 78, Paris.

RUELLAN (A.), 1970 - Symposium on Age of Parent Materials and soils. Amsterdam, 17 p.

RUHE (R.V.), 1959 - Stone-lines in soils. Soil Science, 87 (4), 223-231.

SAMBA-KIMBATA (M.J.), 1978 - Le climat du Bas-Congo. Thèse 3ème Cycle, Univ. Dijon, Fac. Lettres.

SAUTTER (G.), 1970 - Essai sur les formes d'érosion en "cirques" dans la région de Brazzaville. Mém. Doc. CNRS Paris, Vol. 9, 170 p.

SCHARPENSEEL (H.W.), 1977 - The search for biologically inert and lithogenic carbon in recent soil organic matter. Soil Organic Matter Studies II, IAEA Vienna, 193-200.

SCHARPENSEEL (H.W.), RONZANI (C.) et PIETIG (F.), 1968 - Comparative age determination on different humic-matter fractions. Isotopes and radiation in soil organic matter studies, IAEA Vienna, 67-73.

SCHWARTZ (D.), 1982 - Analyse bibliographique des travaux effectués sur les loussékés des plateaux Batéké et des régions avoisinantes (R.P. Congo). Essai de synthèse. ORSTOM Brazzaville, 51 p.

SCHWARTZ (D.) et RAMBAUD (D.), 1983 - Contribution des analyses de sables à une étude morphopédologique : lousséké de Gangalingolo (Pool, R.P. Congo). Tentative de reconstitution paléogéographique et généralisation. ORSTOM Brazzaville, 38 p. A paraître in : Ann. Univ. Marien Gouabi, Brazzaville, 1984.

SCHWARTZ (D.) et LANFRANCHI (R.), 1984 - Prospection sur le chantier routier de la RN 2 ; tronçon Ouesso-Lango. ORSTOM Brazzaville, 10 p.

SCHWARTZ (D.), DELIBRIAS (G.), GUILLET (B.) et LANFRANCHI (R.), 1985 - Datations par le ¹⁴C d'aliots humiques : âge njilien (40 000-30 000 BP) de la podzolisation sur sables batéké (R.P. du Congo). C.R. Acad. Sci. Paris, t. 300, série II, n° 17, 891-894.

SEGALEN (P.), 1967 - Les facteurs de formation des sols ferrugineux tropicaux. ORSTOM Bondy, 13 p.

SEGALEN (P.), 1969 - Le remaniement des sols et la mise en place de la stone-line en Afrique. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. VII (1), 113-131.

SEGALEN (P.), 1978 - Les classification de sol. ORSTOM Paris, 171 p.

SENSTIUS (M.W.), 1930 - Agrogéological studies in the tropics. Soil Res., 2 (1), 10-56.

SOMBROEK (W.C.), 1966 - Amazon soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Agric. Res. Rep. n° 672, 292 p.

SOUCHERE (P. de) et BOSSENO (R.), 1974 - Etude pédologique de trois terrains situés aux environs des villages Odziba-Imbama-Mbé. ORSTOM Brazzaville.

SOUCHIER (B.), 1971 - Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges). Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I. Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., N° 33, 134 p.

- SPRUCE (R.), 1908 - Notes of a Botanist on the Amazon and Andes. A.R. Wallace ed., London. 2 tomes (518 et 542 p.)
- STONE (E.L.), MC FEE (W.W.), 1965 - Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29 (4), 432.
- TAMM (C.O.) et HOLMEN (H.), 1867 - Meddelelser f. D. Norska Skogf., XXIII (85), 69-88.
- TAN (K.H.), PERKINS (H.F.), MC CREERY (R.A.), 1970 - The characteristics, classification and genesis of some tropical Spodosols. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34 (5), 775-779.
- TOUTAIN (F.), 1974 - Etude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 114 p.
- TURENNE (J.F.), 1975 - Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 175 p.
- USDA, Soil Survey Staff, 1960 - Soil classification. A comprehensive system. 7th Approximation. Soil Conservation Service, 295 p.
- VEEN (A.W.L.), 1970 - On geogenesis and pedogenesis of the old coastal plain of Surinam. Sol offset druck, Amsterdam, 176 p.
- VILLEMIN (G.) et TOUTAIN (F.), 1985 - Contribution à la mise au point d'une méthode d'observation des microagrégats du sol en microscopie électronique à transmission. Coll. annuel SFME, Strasbourg, mai 1985.
- VOGT (J.) et VINCENT (P.L.), 1966 - Terrains d'altération et de recouvrement en zone intertropicale. Bull. BRGM n° 4, 1-111.

ANNEXES

ANNEXE I : METHODES D'ANALYSES DES SOLS

ANNEXE II : ANALYSES DE SOLS

ANNEXE III : DIAGRAMMES DE R.X.

ANNEXE IV : RELEVES FLORISTIQUES DES PRINCIPALES UNITES DE SOLS

ANNEXE V : PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

ANNEXE VI : CARTES

- Carte n° 1 : Topographie et localisation des observations (Lousséké de Gangalingolo)
- Carte n° 2 : Carte des sols (Lousséké de Gangalingolo)
- Carte n° 3 : Podzol de la concession ORSTOM de Brazzaville

.....

ANNEXE I

METHODES D'ANALYSES DES SOLS

METHODES D'ANALYSES DE SOLS

*Analyses de caractérisation simple :

Carbone : méthode Walkley et Black (attaque sulfochromique à froid)

Azote : méthode Kjeldhal (attaque sulfurique avec alliage de De Warda)

pH : eau et KCl

Granulométrie : Attaque de la matière organique par H_2O_2 , dispersion au pyrophosphate de sodium, sédimentation en pipette de Robinson.

Capacité d'échange : Saturation avec $CaCl_2$ à pH 7. Désaturation avec KNO_3 à pH 7.

Bases échangeables : Echange à l'acétate d'ammonium à pH 7. Dosage des ions par absorption atomique (Ca, Mg) et émission de flamme (K, Na).

Fer total : Attaque avec HCl concentré à chaud. Dosage après réduction en Fe^{++} par le bichromate de potassium.

Fer libre : Méthode DEB. Dosage colorimétrique.

*Méthodes utilisées pour la caractérisation des horizons spodiques (Chap. VI):

Sesquioxydes : Fe et Al : extraction au pyrophosphate, tétraborate, oxalate, citrate-dithionite-bicarbonâte (CDB) d'après les modalités décrites par JEANROY (1983).

Matière organique : fractionnement par la méthode Bondy (DABIN, 1971).

*Dosage du phosphore total (Chapitre VIII) par la méthode TRUOGG.

N.B. Des différences sensibles apparaissent dans l'extraction du fer, par la méthode DEB et par le CDB, méthodes dont les résultats sont en général comparables, même si la méthode DEB, qui s'effectue en milieu acide, est plus agressive vis-à-vis des silicates et extrait davantage de fer. Ces différences sont une conséquence des faibles teneurs en fer des sols, ce qui a pour effet d'exagérer les différences relatives entre les deux méthodes (les teneurs en fer restant dans l'absolu toujours faibles).

ANNEXE II

ANALYSES DE SOLS

Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire et hydromull (Unité 6, profil GASC 1, Figure 20)

	A11 0-15	A12 15-25	A12 25-35	A1/A2 35-55	A2 55-80	A2 80-95	A2 95-105	B21h 110	B22h 115	B22h 120	B22h 140	B22h 170	B22h 200	B23h 200	B23h 230	B23h 260	B3? 270
A %	1,1	0,9	0,9	1,1	1,0	0,9	1,5	3,1	3,3	3,2	5,3	5,8	6,0	6,4	6,3	4,6	4,5
L.F. %	0,7	0,7	0,4	0,7	1,3	0,4	0,6	6,2	3,3	1,3	1,7	2,2	1,6	1,4	2,3	2,0	0,4
L.G. %	2,3	1,6	1,7	2,2	3,3	6,7	3,2	2,3	2,9	2,0	2,8	2,9	2,5	2,6	3,1	2,3	1,9
S.F. %	42,7	35,0	37,9	40,7	42,6	50,1	43,7	41,2	43	35,6	41,1	39,3	38,2	37,2	39,0	35,7	44,3
S.G. %	52,9	60,5	59,7	55,6	53,5	41,2	51,2	46,1	44,5	41,5	41,9	41,7	41,8	41,4	42,0	54,5	47,6
M.O. %	2,3	1,1	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,9	3,1	17,8	8,1	7,7	10,1	9,4	4,5	1,0	0,9
Total	102	99,8	101,1	100,5	101,0	99,3	100,3	99,8	100,1	101,4	100,9	99,6	100,2	98,4	97,2	101,1	98,6
C %	13,14	6,62	2,87	1,38	0,35	0,38	0,42	5,15	18,16	102,96	47,14	44,82	58,73	54,60	26,26	5,95	5,40
N %	0,420	0,392	0,210	0,126	0,091	0,084	0,028	0,273	0,422	1,575	1,078	0,987	1,064	1,050	0,518	0,182	0,224
C/N*	31,3	16,9	13,7	10,9	3,8	4,5	15,0	18,9	43,0	65,3	43,7	45,4	55,2	52,0	50,6	32,7	24,1
pHeau	4,9	5,0	5,4	5,9	6,6	6,6	5,9	5,6	4,9	3,8	4,3	4,3	4,3	4,6	4,8	5,4	5,2
pH _{KCl}	3,4	3,7	3,9	4,1	5,6	4,9	4,8	3,9	3,5	3,1	3,3	3,5	3,7	4,0	4,2	4,4	4,2
Bases échang. m.e./100 g																	
Ca ⁺⁺	0,01	0,04	0,07	0,04	0,03	0,06	0	0,05	0,01	0,12	0,08	0,07	0,12	0,03	0,01	0,04	0,03
Mg ⁺⁺	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0	0,02	0	0,01
K ⁺	0,06	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,07	0,02	0,03
Na ⁺	tr.	0	0,01	0,01	tr.	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,01
S	0,11	0,10	0,13	0,08	0,06	0,09	0,02	0,07	0,04	0,17	0,11	0,09	0,16	0,04	0,10	0,06	0,08
T	19,11	21,6	18,4	11,5	4,9	3,5	0,8	1,8	2,1	1,4	2,2	5,7	2,3	2,2	9,3	14,3	4,8
S/T	0,6	0,5	0,7	0,7	1,2	2,6	2,5	3,9	1,9	12,1	5,0	1,6	6,9	1,8	1,1	0,4	1,7
Fe total %	0,16	0,32	0,08	0,40	0,32	0,40	0,24	0,16	0,72	0,32	0,48	0,32	0,32	0,80	0,40	0,16	0,32
Fe libre %	0,08	0,11	0,08	0,04	0,17	0,6	0,19	0,22	0,17	0,19	0,15	0,19	0,06	0,15	0,04	0,03	0,05

* Les différences avec le tableau IX sont consécutives aux époques de prélèvements.

Paléopodzol humique, à mull acide, à nodules de matière organique dans
1e A₂ (Unité 11a, GASC 195, Figure 22).

	A ₁₁ 0-20	A ₁₂ 40-60	A ₂ 70-90	A ₂ 120-140	A ₂ 165-185	B _{21h} 188	B _{22h}	Partie interne Nodule induré 1	Partie externe Nodule induré 2	Nodule non induré
A %	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	5,3	8,5	4,6	2,3	2,7
L.F. %	0,6	0,1	0,6	1,0	1,0	5,5	1,6	2,9	2,7	3,8
L.G. %	1,4	1,8	2,2	2,2	2,0	0,2	1,2	1,6	1,4	1,3
S.F. %	32,0	43,8	48,5	43,7	42,8	37,6	30,5	38,9	31,4	30,9
S.G. %	64,8	53,3	48,7	53,3	54,8	48,2	50,1	42,7	58,6	58,1
M.O. %	1,5	0,8	0,2	0,1	0,1	2,8	9,5	7,0	3,7	3,7
Total	100,9	100,5	100,7	101,0	101,2	100,6	101,4	97,7	100,1	100,5
C %	8,92	4,72	1,45	0,56	0,72	16,29	55,38	41,14	21,53	21,20
N %	0,602	0,308	0,147	0,049	0,077	0,707	1,47	1,190	0,770	1,001
C/N	14,8	15,3	9,9	11,4	9,4	23,0	37,6	34,6	28,0	21,2
pH _{eau}	5,8	5,5	6,2	6,0	6,2	5,0	5,1	5,4	5,6	5,8
pH _{KCl}	4,3	4,0	4,5	4,9	4,7	4,2	4,1	4,3	4,4	4,5
Fe total %	0,40	0,40	0,64	0,32	0,32	0,88	0,96	0,56	0,40	0,64
Fe libre %	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,09	0,13	0,13	0,05	0,15

Sol ferrallitique fortement désaturé, psammitique, hydromorphe, série
podzolisée (Unité 12, GASC 95, Figure 24).

	(1) 0-20	(2) 35-55	(3) 100	(4) 100	(5) 105	(6) 140	(6) 170	(7) 200	(8) 170
A %	2,1	1,7	3,2	3,4	4,4	2,8	1,0	1,0	3,5
L.F. %	1,2	1,0	0,2	1,9	1,0	2,0	1,3	1,0	1,3
L.G. %	3,5	3,3	2,5	3,8	2,2	3,9	3,6	4,1	2,8
S.F. %	43,4	52,4	43,3	42,6	36,0	45,7	46,1	49,3	42,4
S.G. %	46,1	39,2	48,3	43,0	51,5	42,9	47,2	43,9	44,4
M.O. %	2,4	1,9	1,3	2,7	3,2	0,9	1,1	0,3	2,7
Total	98,7	99,5	98,8	97,4	98,3	98,2	100,3	99,6	97,0
C %	13,87	10,75	7,32	15,91	18,45	5,05	6,73	1,96	15,67
N %	0,847	0,560	0,399	0,672	1,106	0,392	0,392	0,126	0,413
C/N	16,4	19,2	18,3	23,7	16,7	12,9	17,2	15,5	37,9
pH _{eau}	5,7	5,7	6,4	6,1	5,9	5,6	6,0	6,1	6,4
pH _{KCl}	4,6	4,8	4,9	4,9	4,7	5,1	5,1	5,0	4,9
Fer total %	0,56	0,56	0,40	0,72	0,64	0,48	0,64	0,40	0,64
Fer libre %	0,21	0,19	0,18	0,24	0,24	0,15	0,24	0,12	0,18

Sols hydromorphes, moyennement humifères, à gley, sur matériau sableux (Unité 23, GASC 48, Figure 23).

	A11 0-15	A12 20-40	A12 40-60	G 80-100	G 140-160
A %	4,9	5,3	7,5	7,8	7,9
L.F. %	1,9	1,4	1,1	1,1	1,1
L.G. %	3,0	3,2	5,3	3,9	4,9
S.F. %	36,4	37,4	43,1	44,0	44,5
S.G. %	45,0	45,0	40,1	41,9	41,6
M.O. %	11,7	11,6	2,8	1,0	0,2
Total	102,9	103,9	99,9	99,7	99,7
C %	67,71	67,02	16,05	5,59	1,17
N %	1,792	1,645	0,931	0,427	0,182
C/N	37,8	40,7	17,2	13,1	6,4
pHeau	5,9	5,9	5,9	6,1	5,9
pHKCl	4,5	4,7	4,8	5,0	4,7
Bases échang. m.e./100 g					
Ca ⁺⁺	0,17	0,02	0,05	0,05	0,05
Mg ⁺⁺	0,07	0,02	0	0	0
K ⁺	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01
Na ⁺	0	0	0	0	0,01
S	0,31	0,08	0,07	0,06	0,07
T	10,3	8,7	7,7	3,4	2,2
S/T	3,0	0,9	0,9	1,8	3,2
Fe total %	0,64	0,88	0,96	0,56	0,80
Fe libre %	0,14	0,19	0,15	0,13	0,13

Sols ferrallitiques, fortement désaturés, hydromorphes, sur sables Batéké (Unité 19, GASC 54, Figure 27).

	A11 0-15	A12 25-45	A3 50-70	A/B 75-95	B1g 110-130	B2g 160-180
A %	10,6	11,6	13,0	13,2	14,4	15,9
L.F. %	1,3	2,8	2,3	0,7	2,8	1,9
L.G. %	4,2	5,1	4,6	6,0	5,8	4,7
S.F. %	29,0	39,4	34,7	36,9	32,9	35,9
S.G. %	51,0	37,0	43,2	38,6	43,1	41,7
M.O. %	3,4	2,9	1,8	1,2	0,3	0,3
Total	99,5	98,8	99,6	96,4	99,3	100,3
C %	19,80	16,72	10,50	6,77	1,82	1,53
N %	1,085	0,875	0,742	0,581	0,329	0,350
C/N	18,2	19,1	14,2	11,7	5,5	4,4
pHeau	5,2	5,4	5,2	5,3	5,2	5,2
pHKCl	4,2	4,4	4,5	4,7	4,5	4,4
Fe total %	1,36	1,44	1,28	1,68	1,36	1,52
Fe libre %	0,28	0,38	0,44	0,48	0,66	0,46

Sol ferrallitique fortement désaturé, humifère, appauvri, hydromorphe
(Unité 18, GASC 74, Figure 26)

	A ₁₁ 0-20	A ₁₂ 40-60	A ₁₂ 90-100	A ₃ 115-130	Concrétions ferrugineuses 130	B _g 140-160
A %	1,1	1,9	1,1	1,6	4,5	3,1
L.F. %	1,2	1,4	1,7	2,6	3,6	3,9
L.G. %	1,5	2,9	3,5	3,4	2,7	3,3
S.F. %	39,6	45,5	35,6	41,0	38,5	43,9
S.G. %	53,5	47,7	57,2	51,3	45,6	44,5
M.O. %	3,2	1,4	1,2	0,9	3,5	1,3
Total	100,1	100,8	100,3	100,8	98,4	100,0
C ‰	18,64	7,86	6,89	5,19	20,28	7,30
N ‰	1,036	0,476	0,434	0,357	0,840	0,490
C/N	18,0	16,5	15,9	14,5	24,1	14,9
pH _{eau}	5,9	5,9	5,9	6,2	5,5	6,2
pH _{KCl}	4,5	4,7	4,7	4,8	4,7	5,1
Fe total %	0,72	0,24	0,32	0,24	1,20	0,40
Fe libre %	0,21	0,14	0,05	0,18	0,40	0,20

Sols ferrallitiques, fortement désaturés, psammitiques, sur sables Batéké,
des bas de pente. (Unité 16, GASC 100).

	A ₁₁ 0-20	A ₁₂ 30-50	AB 62-79	B ₁ 95-115	B ₂ 133-155	270-300	370-390	460-480
A %	12,0	13,8	12,2	14,6	14,3	15,9	15,6	16,4
L.F. %	0,9	1,6	1,7	1,5	2,2	2,1	2,1	2,4
L.G. %	2,5	2,6	3,7	4,6	4,2	4,7	5,9	5,1
S.F. %	35,4	34,4	31,9	31,9	33,0	29,0	32,8	30,7
S.G. %	48,5	47,4	48,3	44,5	44,6	48,8	41,9	46,1
M.O. %	1,6	0,9	0,5	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2
Total	101,1	100,7	98,3	97,7	98,7	100,8	98,5	100,9
C ‰	9,05	5,34	2,86	3,49	2,12	1,61	1,09	1,15
N ‰	0,637	0,427	0,322	0,448	0,343	0,357	0,329	0,329
C/N	14,2	12,5	8,9	7,8	6,2	4,5	3,3	3,5
pH _{eau}	5,0	5,2	4,9	4,8	5,1	5,1	5,6	5,3
pH _{KCl}	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,2
Fe total %	2,08	1,84	2,48	2,48	2,40	2,80	2,16	2,96
Fe libre %	0,63	0,85	0,87	1,18	0,95	1,11	0,93	1,18

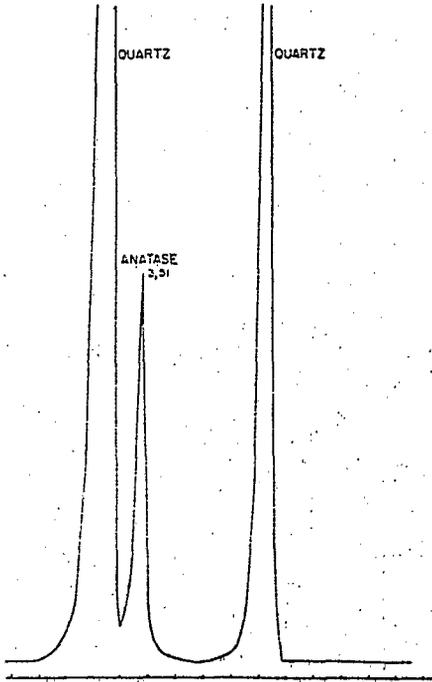
ANNEXE III

DIAGRAMMES DE R.X.

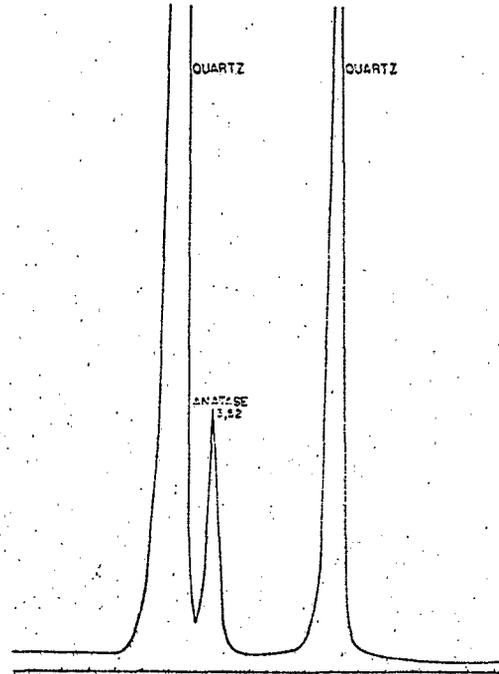
RAYONS X

Poudre - Fraction 0-50 µm

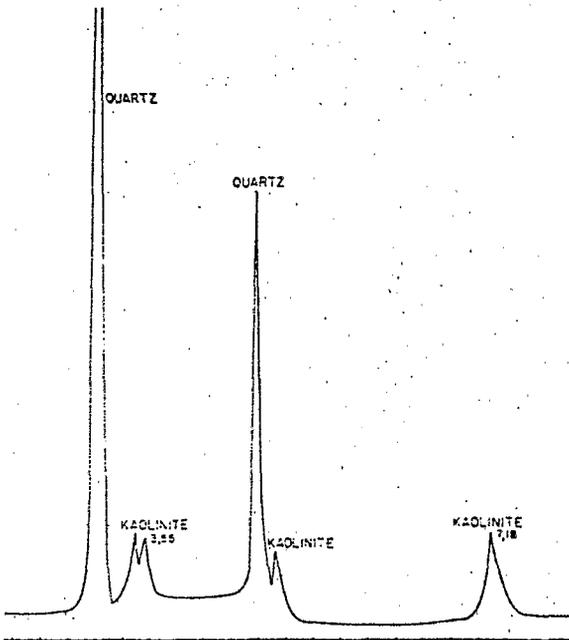
Profil GASC 1 (voir figure 20)
horizon B21h (Z = 110)



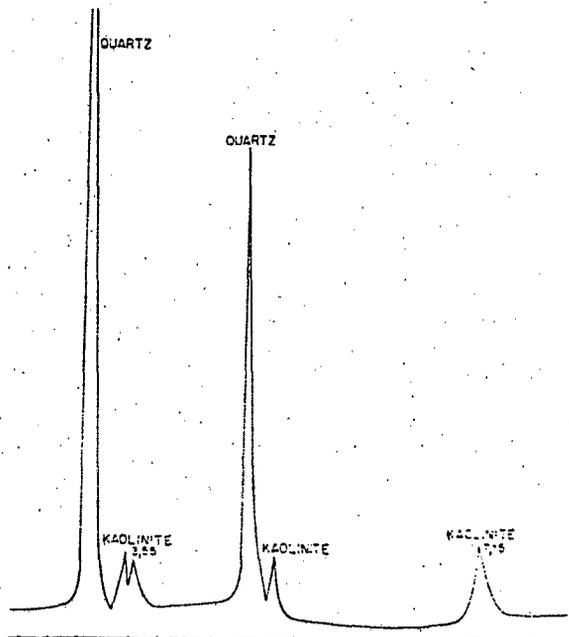
Profil GASC 1, alios, partie supérieure
horizon B22h (Z = 115)



Profil GASC 1, alios partie médiane
horizon B22h (Z = 170)



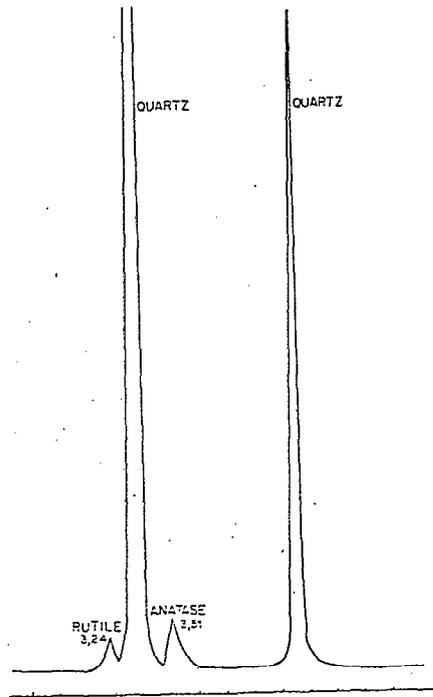
Profil GASC 1, alios, partie inférieure
horizon B23h (Z = 230)



RAYONS X

Poudre - fraction 0-50 µm

PZO : Horizon B_{21h}

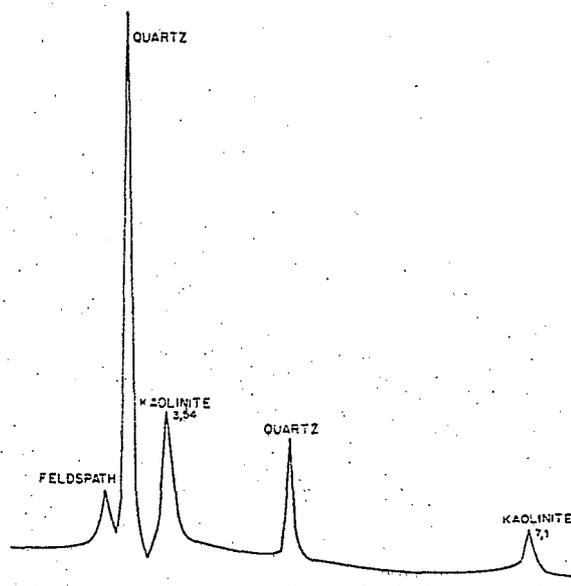
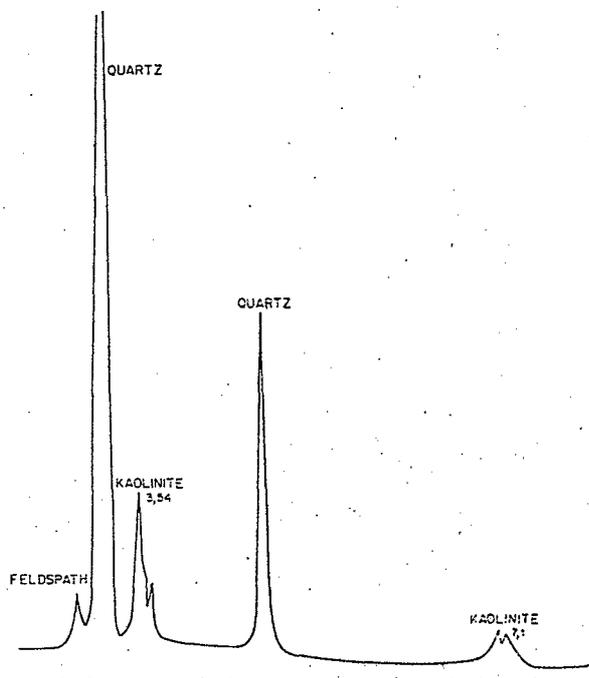


RAYONS X

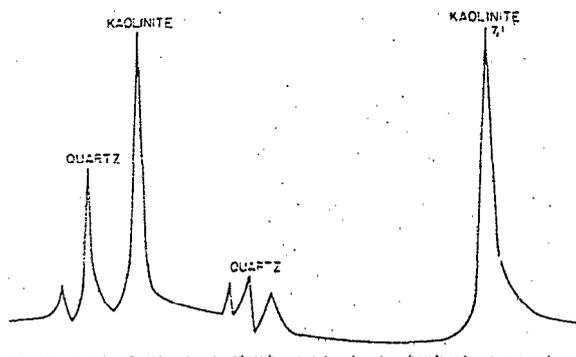
Lames orientées - fraction 0-2 µm ; traitement argile-Mg

Profil GASC 1 : horizon B21h

Profil GASC 1 : partie supérieure alios
(horizon B22h)



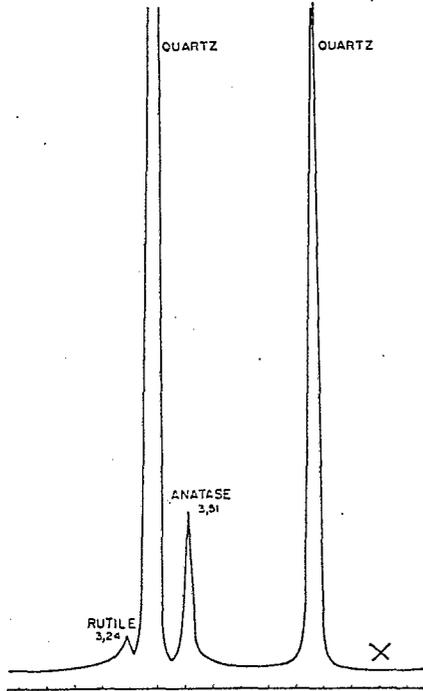
Profil GASC 1 : partie inférieure alios
(horizon B23h)



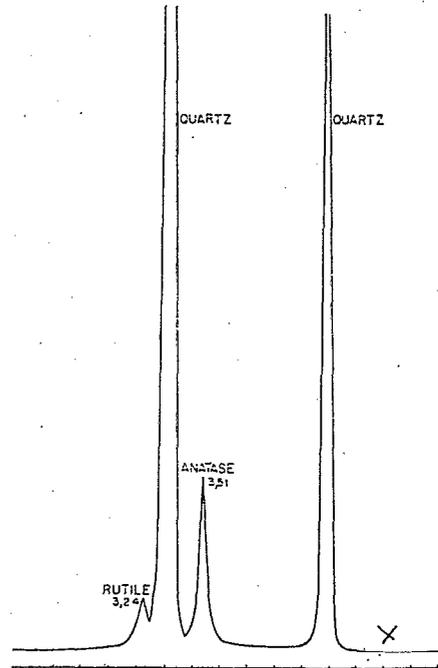
RAYONS X

Recherche de la gibbsite (poudre 0-50 μm , après traitement MEHRA-JACKSON et H_2O_2)

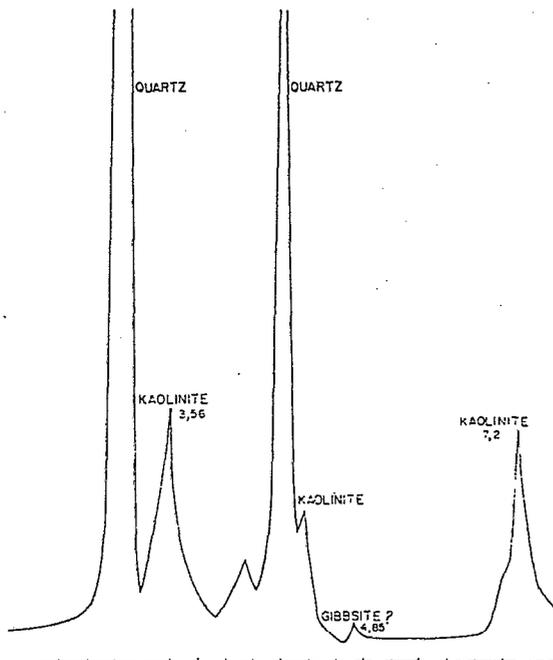
Profil GASC 1 (horizon B21h)



Profil GASC 1 (partie supérieure de l'aliôs : hor. B22h)



Profil GASC 1 (partie inférieure de l'aliôs : horizon B23h)



ANNEXE IV

RELEVES FLORISTIQUES DES PRINCIPALES UNITES DE SOLS

RELEVÉS FLORISTIQUES

Les relevés ont été effectués le 27 janvier 1983, dans les principales unités de sols du lousseké de Gangalingolo. Les déterminations sont de Paul SITA, systématicien à l'ORSTOM. La correspondance avec les types de sols est à chaque fois indiqués.

LOUSSEKE HYDROMORPHE : Podzol hydromorphe, à hydromull, série plus humide
(Unité 6)

5	<i>Loudetia simplex</i>	graminées
5	<i>Bulbostylis laniceps</i>	cypéracées
4	<i>Monocymbium ceresiiforme</i>	graminées
1-+	<i>Mesanthemum radicans</i>	euryocaulacées
1-+	<i>Xyris densa</i>	xyridacées
+	<i>Platycoryne buchiana</i>	orchidacées
+	<i>Habenaria</i> sp.	orchidacées ?
+	<i>Erioglossum</i> sp.	ptéridophytes
+	<i>Cyanotis longifolia</i>	comméliacées
	<i>Sauvagesia erecta</i>	ochnacées
	<i>Craterostigma latibracteatum</i>	scrofulariacées.

LOUSSEKE HYDROMORPHE : Podzol hydromorphe, à hydromull, série plus sèche
(Unité 7)

Même végétation, mais *Mesanthemum* et *Xyris* disparaissent. Par contre, apparaissent :

1-+	<i>Ctenium newtonii</i>	graminées
+	<i>Sopubia simplex</i>	scrofulariacées
+	<i>Eulophia cucullata</i>	orchidacées
	<i>Eriosema pellegrina</i>	papilionacées

LOUSSEKE HYDROMORPHE : Podzol de transition entre les précédents et les zones tourbeuses (Unité 9)

5	<i>Monocymbium ceresiiforme</i>	graminées
1	<i>Hyparrhenia diplandra</i>	graminées
+	<i>Paspalum nervatum</i>	graminées
+	<i>Loudetia simplex</i>	graminées
2	<i>Scleria hirtella</i>	cypéracées
2	<i>Xyris densa</i>	xyridacées
+	<i>Pycneus scattae</i>	cypéracées
+	<i>Virectaria multiflora</i>	rubiacées
+	<i>Plastystoma africana</i>	labiées
+	<i>Dissotis glaberrima</i>	mélastomacées
+	<i>Thesium filipes</i>	santalacées
+	<i>Anadelphia hamata</i>	graminées
+	<i>Ophioglossum</i> sp.	ptéridophytes
	<i>Borreria</i> sp.	rubiacées

LOUSSEKE HYDROMORPHE : Végétation des podzols hydromorphes à A₁ semi-tourbeux (unités 3 et 4 de la carte n° 2)

5	<i>Hypogynium spathiflorum</i>	graminées
4	<i>Panicum nervatum</i>	graminées
2	<i>Monocymbium ceresiiforme</i>	graminées
1	<i>Trichopteryx drageana</i>	graminées
4	<i>Dissotis heliotti</i>	melastomacées
1	<i>Melastomastrum autranianum</i>	mélastomacées
1	<i>Scleria hirtella</i>	cypéracées
+	<i>Scleria melanomiphala</i>	cypéracées
+	<i>Dissotis glaberrima</i>	melastomacées
1	<i>Leocus africanus</i>	labiées
+	<i>Virectaria multiflora</i>	rubiacées
+	<i>Clappertonia ficifolia</i>	tilliacées
+	<i>Selaginella myosurus</i>	sélaginelacées
+	<i>Eulophia carissifolia</i>	orchidacées
+	<i>Eulophia milsonii</i>	orchidacées
+	<i>Eulophia platistoma</i>	orchidacées
+	<i>Hyparrhenia diplandra</i>	graminées
+	<i>Xyris hildebrandtii</i>	xyridacées
+	<i>Xyris imitatrix</i>	xyridacées
+	<i>Abrus canescens</i>	papilionacées
+	<i>Mesanthemum radicans</i>	eryocaulacées
+	<i>Osbeckia congolensis</i>	melastomacées
+	<i>Otomeria</i> sp.	rubiacées
+	<i>Utricularia</i> sp.	lentibulariacées
	<i>Fuirena umbellata</i>	cypéracées
	<i>Mariscus sumatrensis</i>	cypéracées
	<i>Sabicea africana</i>	rubiacées

LOUSSEKE HYDROMORPHE (mares) : Podzols hydromorphes à anmoor oligotrophe
(Unité 5a)

Plusieurs associations (de l'intérieur vers l'extérieur)

- Eau libre

3	<i>Paspalum scrobiculatum</i>	graminées
2	<i>Panicum parviflorum</i>	graminées
2	<i>Eleocharis variegata</i>	cypéracées
+	<i>Panicum nervatum</i>	graminées
+	<i>Cyperus haspan</i>	cypéracées
3	<i>Melastomastrum autranianum</i>	melastomacées
1	<i>Jardinea gabonensis</i>	
1	<i>Nymphaea heudelotii</i>	nymphéacées

- Autour :

5	<i>Hypogynium spathiflorum</i>	graminées
2	<i>Panicum nervatum</i>	graminées
1-2	<i>Paspalum scrobiculatum</i>	graminées
2	<i>Kyllinga pungens</i>	cypéracées
1	<i>Xyris hildebrandtii</i>	xyridacées

- Bordure externe, auréole interne :

4	<i>Hypogynium spathiflorum</i>	graminées
2	<i>Panicum nervatum</i>	graminées
+	<i>Rhynchne rottboellioides</i>	graminées
1	<i>Osbeckia congolensis</i>	melastomacées

- Bordure externe, auréole externe :

4	<i>Hyparrhenia diplandra</i>	graminées
3	<i>Anadelphia hamata</i>	graminées
1-2	<i>Monocymbium ceresiiforme</i>	graminées
+	<i>Scleria hirtella</i>	cypéracées
+	<i>Mesanthemum radicans</i>	eryocaulacées

LOUSSEKE SEC : Podzols à muil acide (Unité 10a)

5	<i>Loudetia simplex</i>	graminées
4	<i>Ctenium newtonii</i>	graminées
3	<i>Digitaria brazzae</i>	graminées
2	<i>Bulbostylis laniceps</i>	cypéracées
1	<i>Monocymbium ceresiiforme</i>	graminées
+	<i>Cyperus amabilis</i>	cypéracées
+	<i>Loudetia demeusii</i>	graminées
+	<i>Trachypogon thollonii</i>	graminées
+	<i>Andropogon africanus</i>	graminées
+	<i>Eriosema glomeratum</i>	papilionacées
+	<i>Hypoxis angulata</i>	hyoxidacées
+	<i>Anisophyllea quangensis</i>	rhizophoracées
+	<i>Polycarpaea corymbosa</i>	polygalacées
+	<i>Eulophia cucullata</i>	orchidacées
+	<i>Strychnos pungens</i>	loganiacées
	<i>Schizachyrium sanguinea</i>	graminées
	<i>Bulbostylis pilosa</i>	cypéracées
	<i>Ochna arenaria</i>	ochnacées

SOLS HYDROMORPHES moyennement humifères à gley (Unité 2)

5	<i>Loudetia arundinacea</i>	graminées
3	<i>Panicum dregeanum</i>	graminées
3	<i>Bulbostylis laniceps</i>	cypéracées
2	<i>Loudetia simplex</i>	graminées
2	<i>Andropogon schirensis</i>	graminées
1	<i>Monocymbium ceresiiforme</i>	graminées
1	<i>Hyparrhenia diplandra</i>	graminées
1	<i>Panicum nervatum</i>	graminées
+	<i>Ctenium newtonii</i>	graminées
+	<i>Loudetia demeusii</i>	graminées
+	<i>Loudetia flammida</i>	graminées
+	<i>Schizachyrium platyphyllum</i>	graminées
+	<i>Rhynchospora candida</i>	cypéracées
	<i>Cyperus zollingeri</i>	cypéracées
2	<i>Osbeckia congolensis</i>	melastomacées
+	<i>Congolanthus longidens</i>	scrofulariacées
+	<i>Schinziella tetragona</i>	gentianacées
+	<i>Vigna triloba</i>	papilionacées
+	<i>Murdania simplex</i>	commélicacées
+	<i>Syzygium guineense</i>	myrtacées
	var. <i>macrocarpa</i>	
+	<i>Oldenlandia angolensis</i>	rubiacées
+	<i>Dissotis glaberrima</i>	melastomacées
+	<i>Tephrosia barbigerata</i>	papilionacées
+	<i>Eriosema glomeratum</i>	papilionacées

} en transition vers
sols ferrallitiques

SOLS FERRALLITIQUES HYDROMORPHES (Unité 19)

5	<i>Hyparrhenia diplandra</i>	graminées
4-3	<i>Ctenium newtonii</i>	graminées
2	<i>Bulbostylis laniceps</i>	cypéracées
2	<i>Sporobolus congoensis</i>	graminées
+	<i>Trachypogon thollonii</i>	graminées
+	<i>Panicum nervatum</i>	graminées
+	<i>Loudetia arundinacea</i>	graminées
+	<i>Cyperus incompressus</i>	cypéracées
+	<i>Loudetia demeusii</i>	graminées
+	<i>Andropogon schirensis</i>	graminées
3	<i>Eriosema glomeratum</i>	papilionacées
1	<i>Parinari capensis</i>	rosacées
+	<i>Osbeckia congolensis</i>	melastomacées
+	<i>Anona arenaria</i>	anonacées
+	<i>Brachyaria kotschyana</i>	graminées
+	<i>Tephrosia barbiger</i>	papilionacées
+	<i>Hymenocardia acida</i>	euphorbiacées
+	<i>Maprounea africana</i>	euphorbiacées
+	<i>Murdania simplex</i>	commelinacées
+	<i>Anisophyllea quangensis</i>	rhizophoracées
+	<i>Polygala acicularis</i>	polygalacées
+	<i>Indigofera congesta</i>	papilionacées
+	<i>Psorospermum febrifugum</i>	guttifères
	<i>Phyllanthus amarus</i>	euphorbiacées
	<i>Strychnos pungens</i>	logariacées

SOLS FERRALLITIQUES fortement désaturés, humifères, hydromorphes (Unité 18)

5	<i>Ctenium newtonii</i>	graminées
4	<i>Loudetia demeusii</i>	graminées
3	<i>Trachypogon thollonii</i>	graminées
2	<i>Bulbostylis laniceps</i>	cypéracées
2	<i>Digitaria brazzae</i>	graminées
3	<i>Eriosema glomeratum</i>	papilionacées
3-2	<i>Anisophyllea quangensis</i>	rhizophoracées
2	<i>Parinari capensis</i>	rosacées
+	<i>Anona arenaria</i>	anonacées
+	<i>Vitex madiensis</i>	verbenacées
+	<i>Hymenocardia acida</i>	euphorbiacées
+	<i>Asclepias</i> sp.	asclepiadées
+	<i>Strychnos pungens</i>	logariacées
+	<i>Vigna ambacensis</i>	papilionacées
+	<i>Cryptolepis hensii</i>	periplocarées
+	<i>Bridelia ferruginea</i>	euphorbiacées

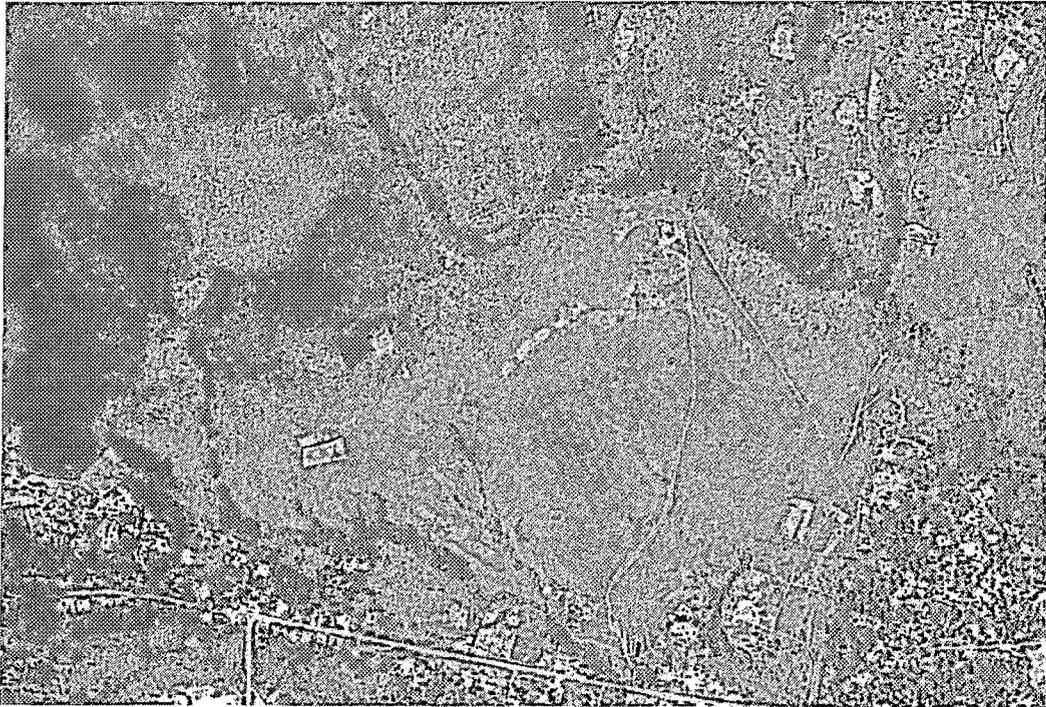
ANNEXE V

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

PLANCHE I

LES PAYSAGES ET LES SOLS

- Photo 1 : Le lousséké de Gangalingolo. Extrait du vol IGN 78 Congo, 05/150 UAG 455. Echelle : 1/15 000. (voir Figure 15, cartes n° 1 et 2).
- Photo 2 : Vue générale du lousséké de Gangalingolo à la saison des pluies. Au premier plan, une mare. Les différences de végétation entre l'avant et l'arrière-plan sont consécutifs à l'action des brûlis. Au fond, la forêt-galerie de la Loa, puis les collines sableuses (Vue prise du Sud vers le Nord).
- Photo 3 : Lousséké de Gangalingolo. Un podzol typique du lousséké hydromorphe (voir figures 20 et 32 du texte).
- Photo 4 : Détail de l'horizon A₁/A₂. Pénétration de glosses humifères dans l'horizon A₂.
- Photo 5 : Lousséké de Gangalingolo. L'aliot entaillé par la Loa sur près de 1 mètre de profondeur.

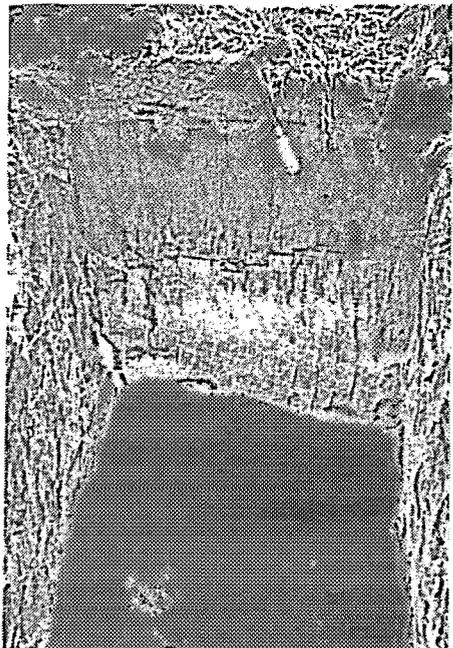


1

2



3



4



5

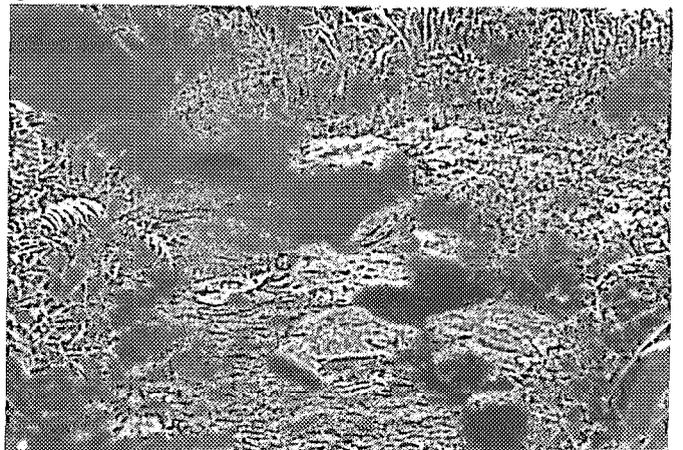
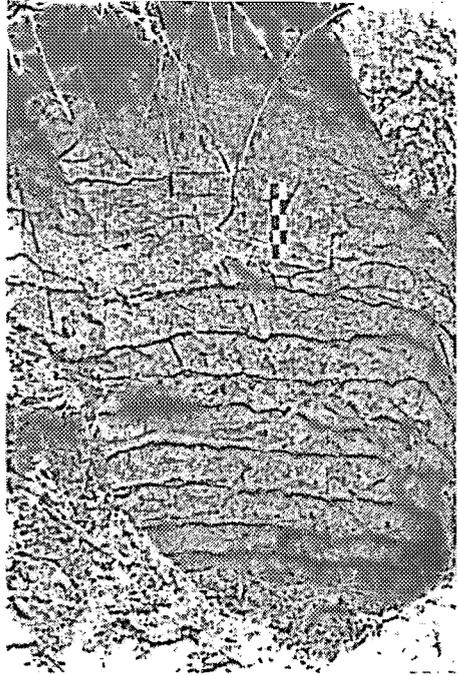


PLANCHE II

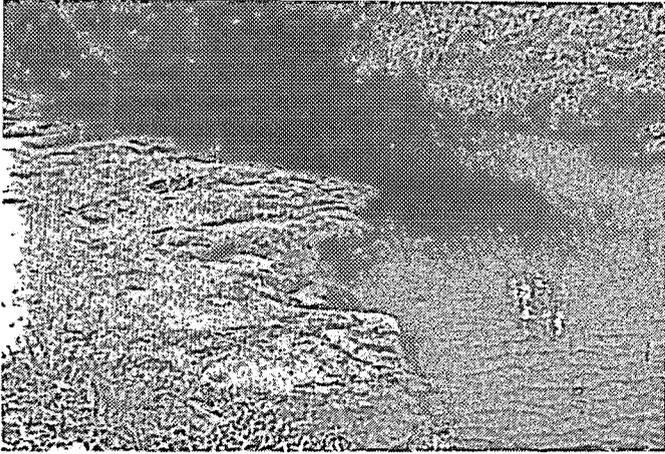
LES PAYSAGES ET LES SOLS

- Photo 1 : Lousséké de Gangalingolo. L'aliôs, décapé sur quelques dizaines de mètres carrés par la Loa.
- Photo 2 : Podzol de la concession ORSTOM (PZO). Horizon A₂ à B_h en bandes. La réglette donne l'échelle (25 cm). Au-dessus de la réglette, horizon A₁ perturbé (voir figures 32 et 47 du texte).
- Photo 3 : Détail d'une raie. Le capuchon de l'objectif donne l'échelle (5 cm).
- Photo 4 : PZO. Horizon B_{21h} vu par le dessus. En haut, à gauche, deux éclats dégagés, à face supérieure recouverte par le B_{21h}. A droite, un éclat dégagé et retourné : la face inférieure est propre, exempte de B_{21h}. Sous l'éclat, une couche centimétrique de sables blancs (A₂) sépare celui-ci de l'aliôs. La réglette fait 25 cm de long. (B_{21h} : voir chapitres VI, VIII, IX et X).
- Photo 5 : PZO. Fouille n° 1. Falaise en cours de dégagement. On aperçoit le surplomb en grès silicifié. A l'avant-plan, un bloc de grès faisant partie de l'éboulis. A l'arrière-plan, l'aliôs.
- Photo 6 : PZO. A la surface de l'aliôs humique, un creux d'une vingtaine de centimètres de diamètre, d'où partent des galeries rayonnantes (dont une, en haut à gauche, réapparaît à la surface) est interprété comme une trace de pivot racinaire.

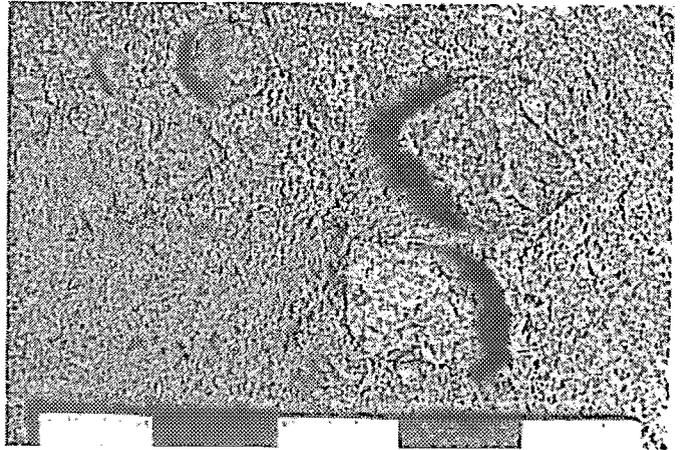
2



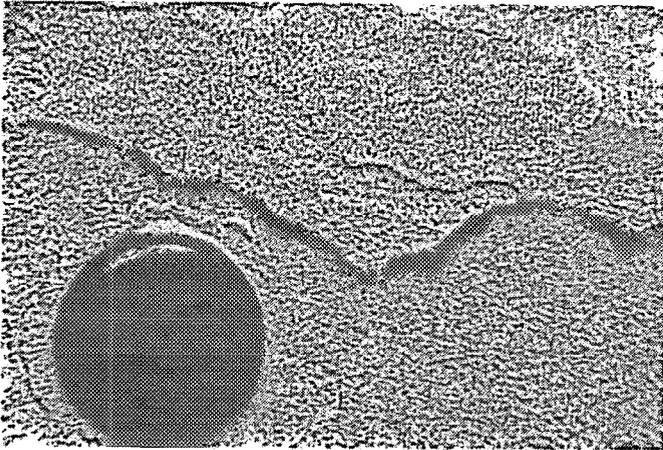
1



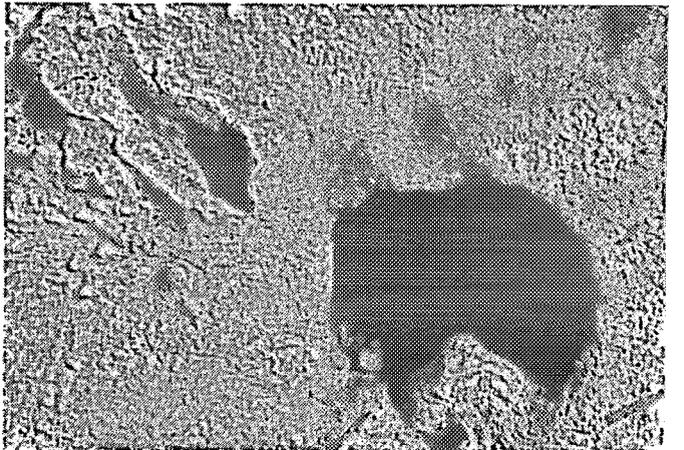
4



3



6



5

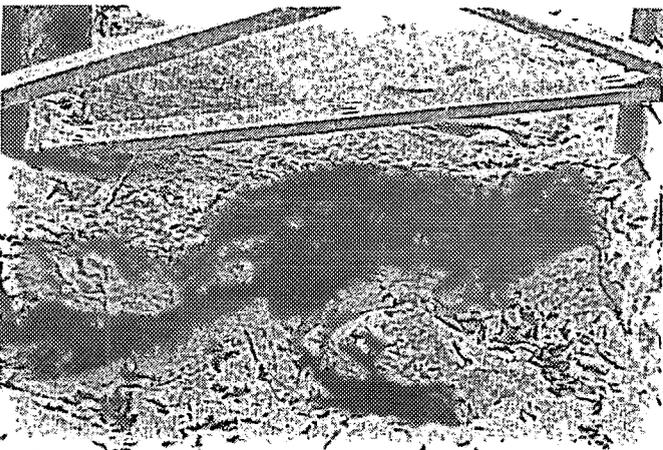


PLANCHE III

MICROSCOPIE OPTIQUE

Photo 1 : Gangalingolo. Quelques racines fossiles ($\geq 30\ 000$ BP) prélevées dans l'aliou, avec mention des profils. Il s'agit de racines de *Monopetalanthus* sp. (Césalpinacées). Les échantillons ont une taille de 10 à 20 cm.

Coupes anatomiques : Photo 2 : *Monopetalanthus microphyllus*. Coupe tangentielle (x 76). (Avec l'aimable autorisation de R. DECHAMPS).

Photo 3 *Monopetalanthus mycrophyllus*. Coupe transversale (x 76). (Avec l'aimable autorisation de R. DECHAMPS).

Lames de sols : Photo 4 : Gangalingolo. Horizon B21h. Remplissage interstitiel par des quartz de la taille des limons et des argiles, et par des pellets de matière organique.
Echelle approximative : x 100

Photo 5 : Gangalingolo. Horizon B22h. Epais revêtements organiques. Echelle approximative : x 150.

Photo 6 : Gangalingolo. Horizon B23h. Revêtements organiques.
Echelle approximative : x 150.

N.B. : photos 1 à 3 : voir chapitre IX
photos 4 à 6 : voir chapitre VI.

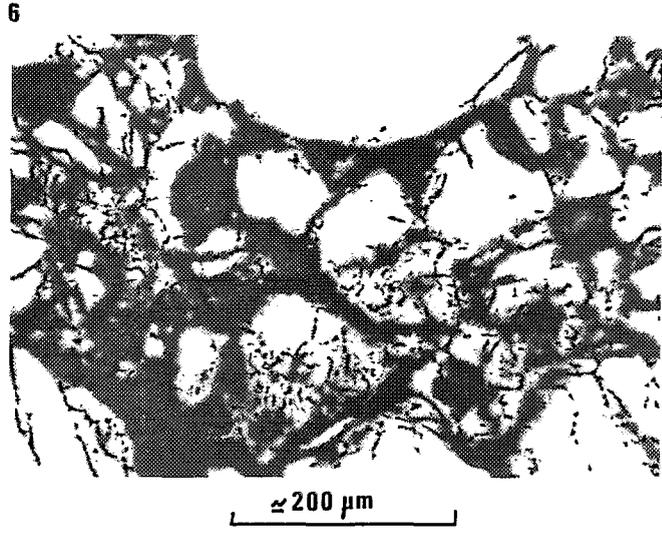
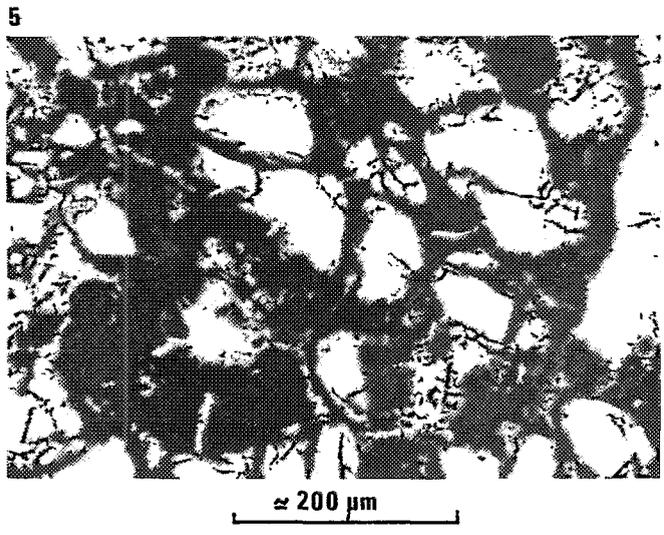
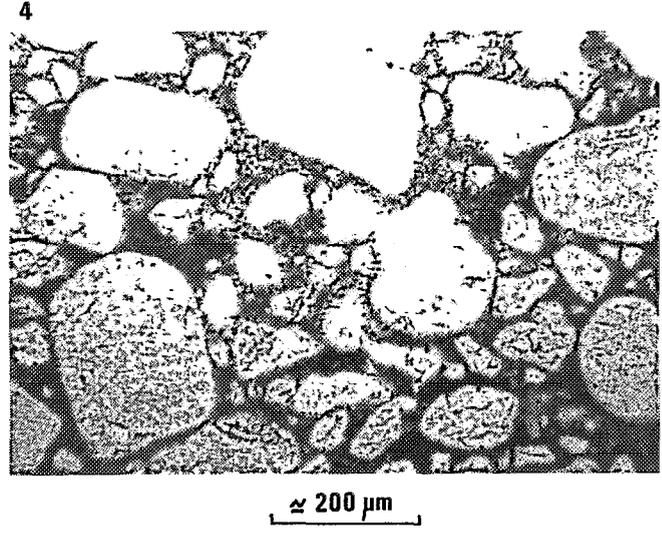
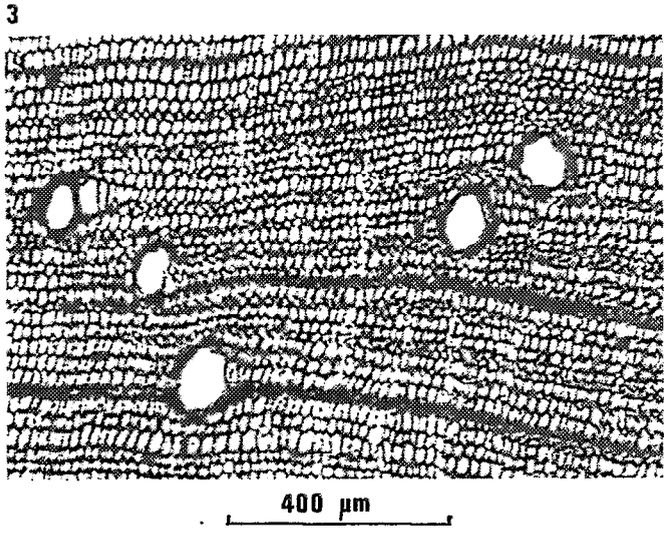
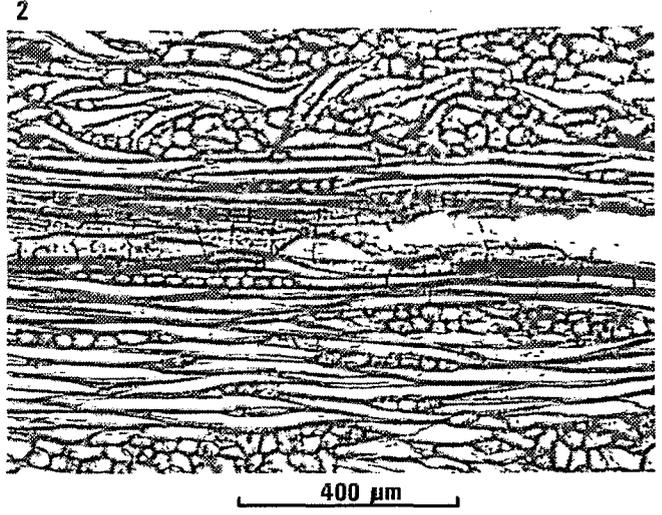
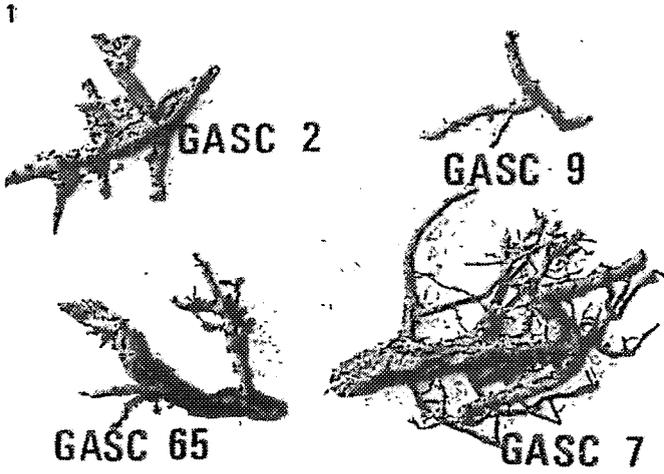


PLANCHE IV

MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE

Exoscopie des quartz (Photos D. RAMBAUD)

Photo 1 : Vue générale d'un grain. On distingue des traces de chocs éoliens, cupules (en haut), croissants (encadré) et "V", tous très polis lors d'une reprise aquatique et en partie approfondis par la dissolution.

Echelle : x 280.

Photo 2 : Détail du cliché précédent. En (1), croissant de choc. En (2), croissants extrêmement usés, dont il ne reste plus que la base. En (3), deux "V".

Echelle : x 1 000.

Photo 3 : Figures de dissolution triangulaires à la surface d'un grain de quartz.

Echelle x 870.

Photo 4 : Dissolution au fond d'un grand "V" de choc.

Echelle x 870.

Horizon B21h

Photo 5 : Le remplissage interstitiel de limons fins et d'argiles granulométriques de l'horizon B21h. Tous les éléments, même les plus fins, sont constitués de quartz. Ce remplissage très dense explique la compaction et la densité apparente élevée de cet horizon.

Echelle : x 2 000.

Photo 6 : Un agrégat organo-minéral au sein de l'horizon B21h.

Echelle : x 10 000.

PLANCHE IV

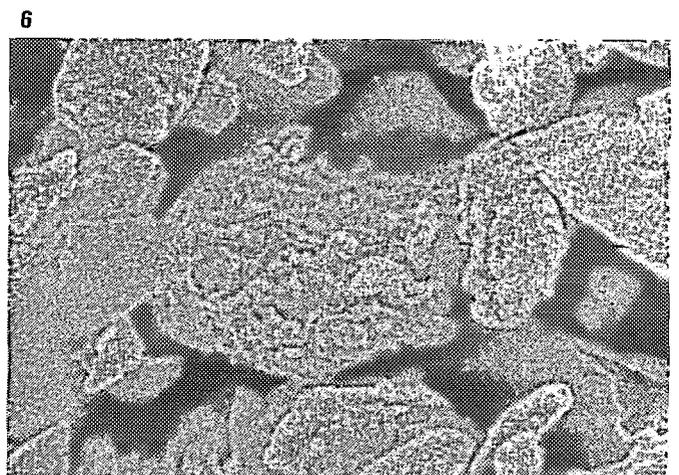
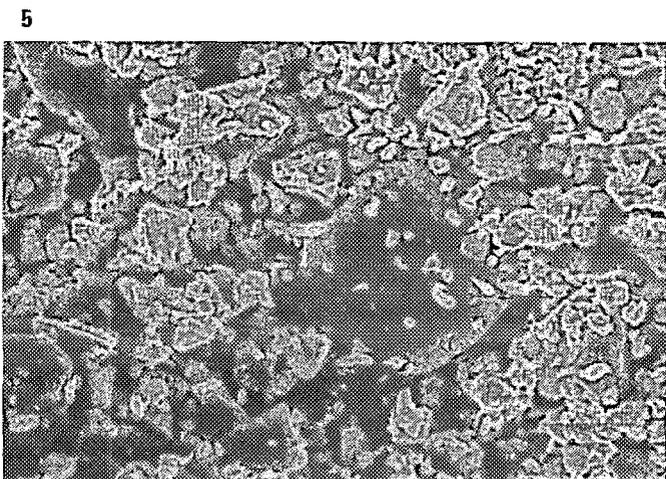
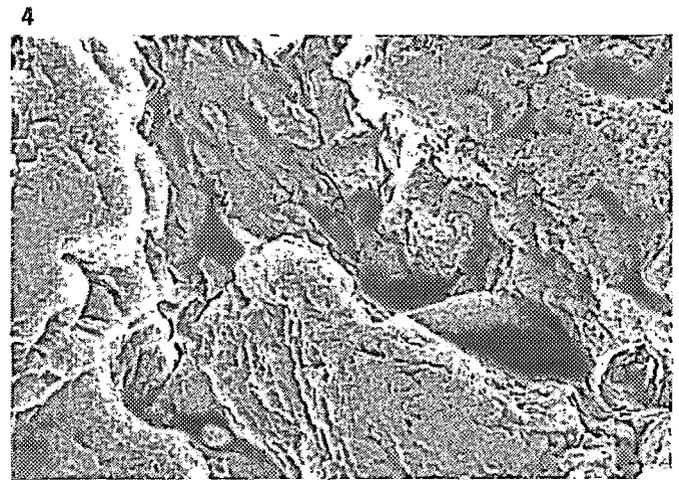
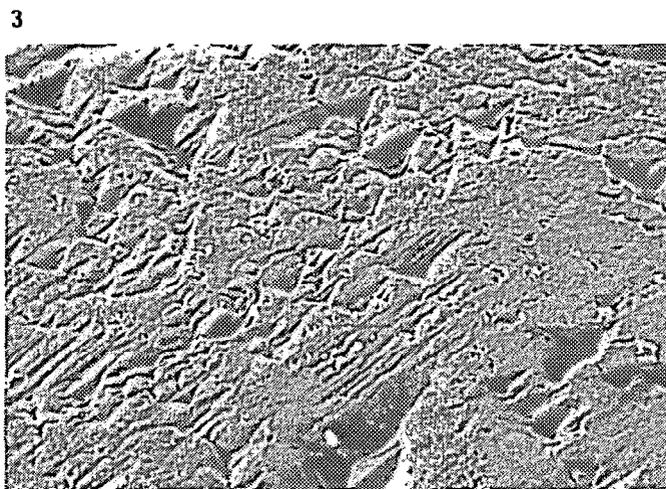
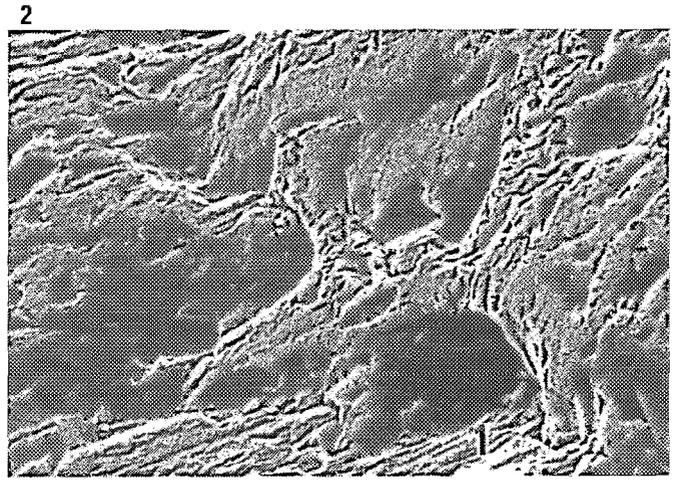
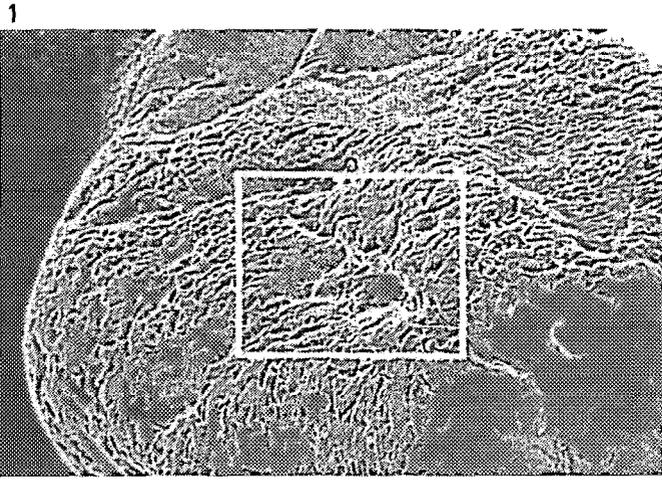


PLANCHE V

MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE

L'ALIOS (Photos : B. GUILLET)

Photo 1 : Les revêtements organiques de l'horizon B_{22h}. La structure en polyèdres anguleux est un artefact lié à la dessiccation.
Echelle : x 380.

Photo 2 : Détail de la vue précédente.
Echelle : x 1 100.

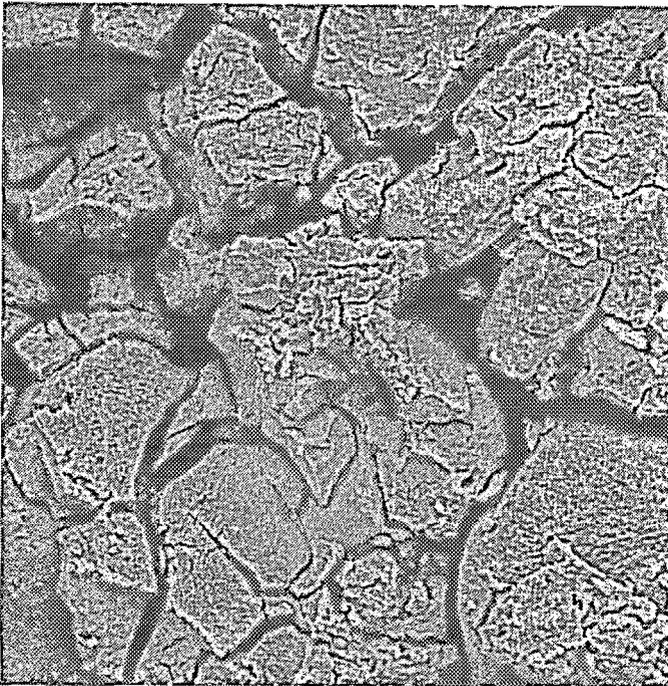
Photo 3 : Les revêtements organiques de l'horizon B_{23h}. On remarquera que ces revêtements sont moins homogènes que les précédents. Il y a notamment, localement, apparition d'une structure "floconneuse".
Echelle : x 150

Photo 4 : Détail montrant la structure "floconneuse", attribuée à une agrégation entre particules phylliteuses et matières humiques de précipitation.
Echelle : x 2 500.

N.B. : Voir chapitre VI.

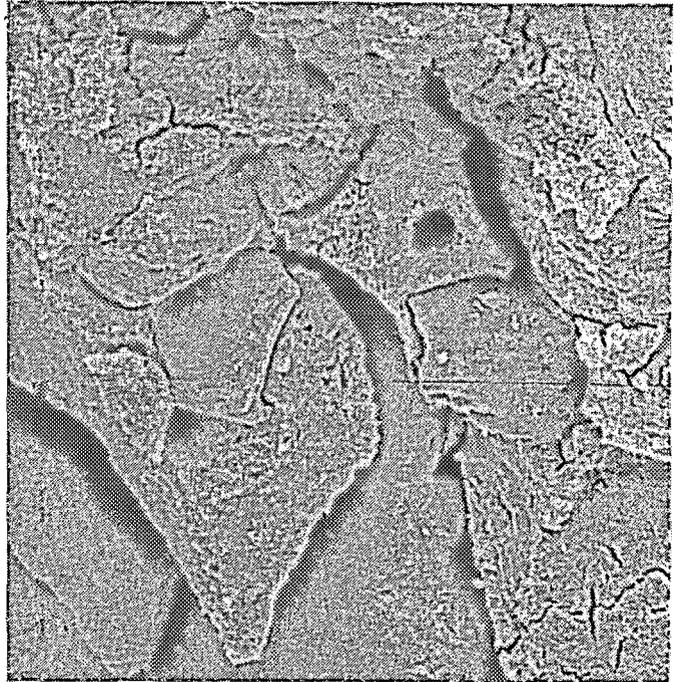
PLANCHE V

1



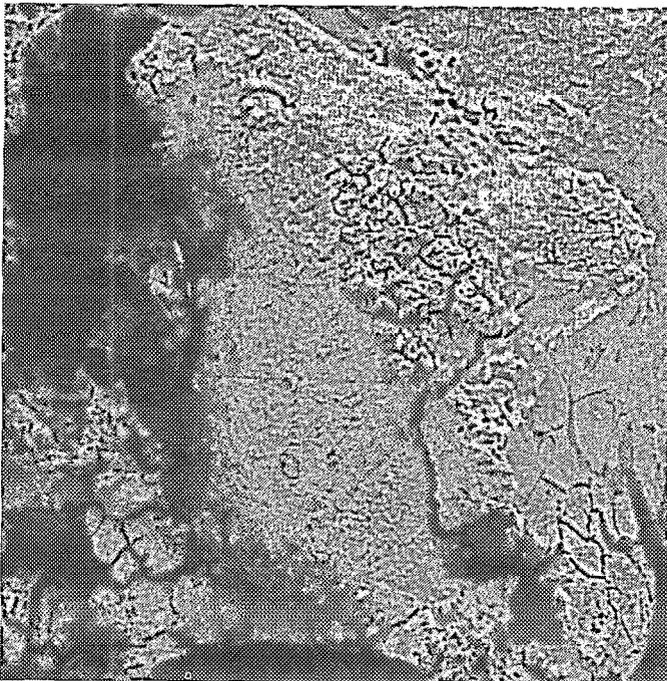
100 μm

2



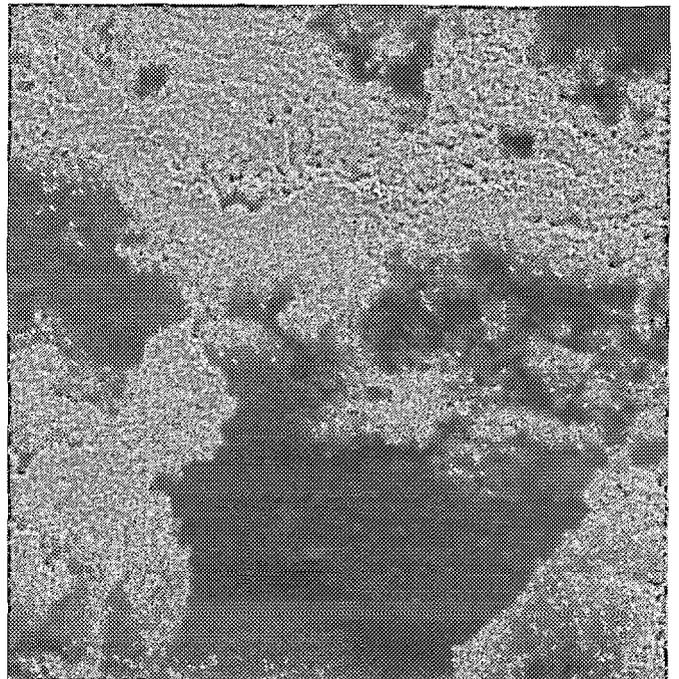
20 μm

3



160 μm

4



12 μm

PLANCHE VI

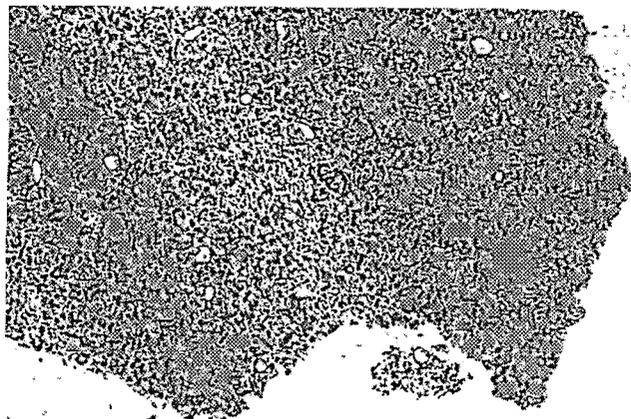
MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION

(Photos G. VILLEMIN)

- Photo 1 : Vue générale d'un revêtement organique de l'horizon B_{22h}, débité en polyèdres par la dessiccation (voir photos 1 et 2 de la planche V). Ces revêtements sont purement organiques.
Echelle : x 2 300.
- Photo 2 : Détail de la photo précédente, montrant des gels organiques et des "fantômes" de structures cellulaires reconnaissables, certainement des filaments mycéliens.
Echelle : x 2 900.
- Photo 3 : Détail des gels organiques.
Echelle x 50 000.
- Photo 4 : Associations organo-minérales montrant des gels organiques formés de granules entourant des phyllites (kaolinite) dans l'horizon B_{23h}.
Echelle : x 42 000.
- Photo 5 : Gels organiques de l'horizon B_{23h}, légèrement différents de ceux de l'horizon B_{22h} (Photo 3).
Echelle : x 75 000.

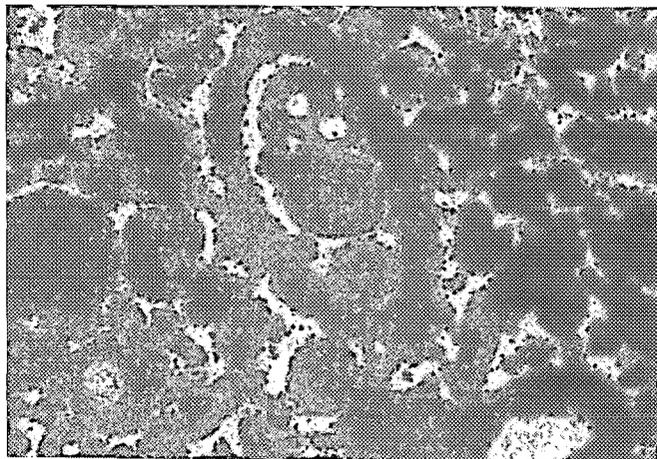
N.B. : Voir chapitre VI.

1



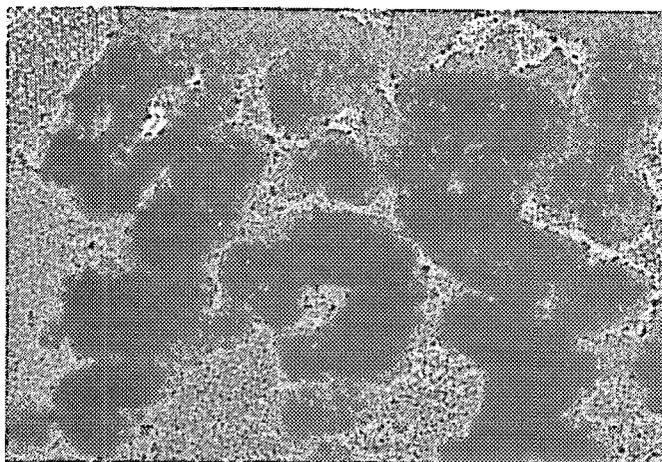
10 μm

2



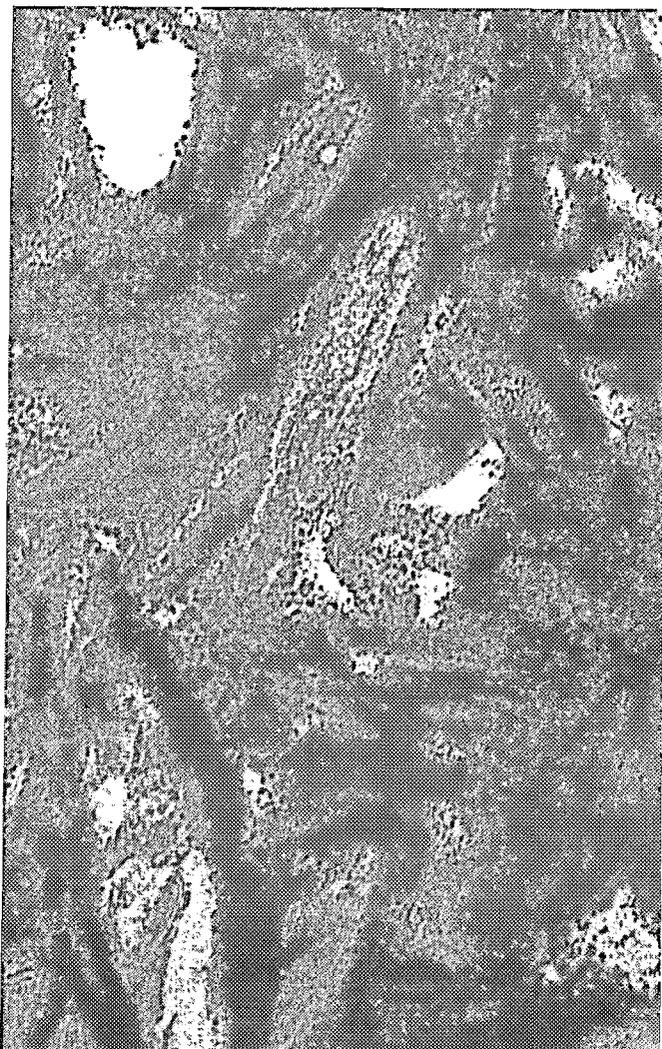
1 μm

3



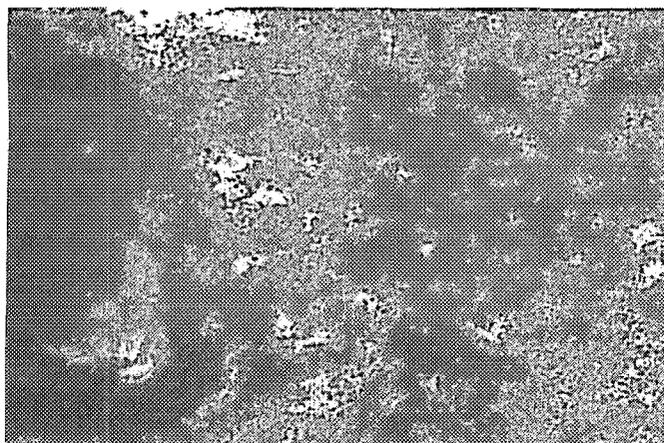
0.5 μm

4



0.5 μm

5



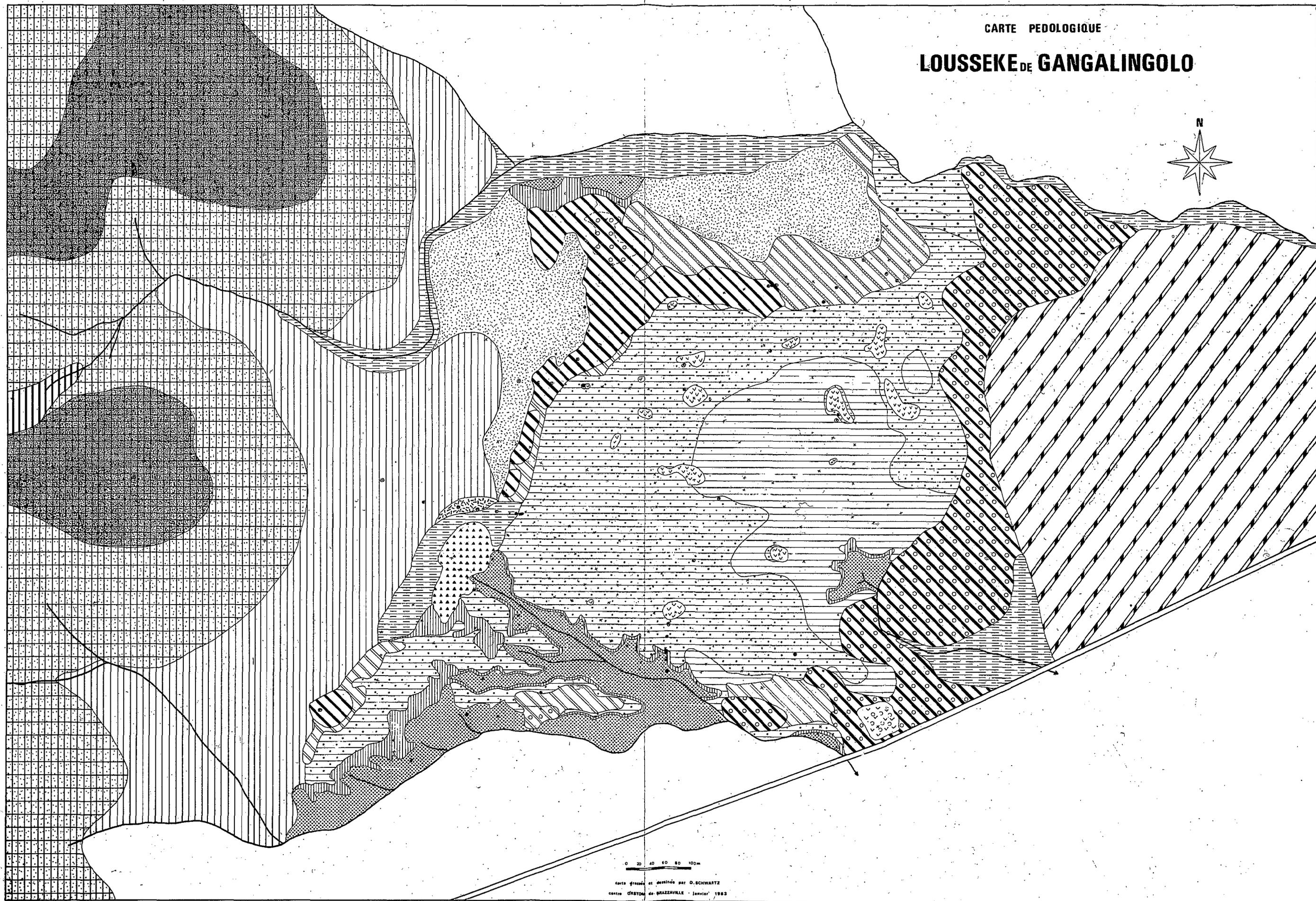
0,5 μm

ANNEXE VI

CARTES

CARTE PEDOLOGIQUE

LOUSSEKE DE GANGALINGOLO

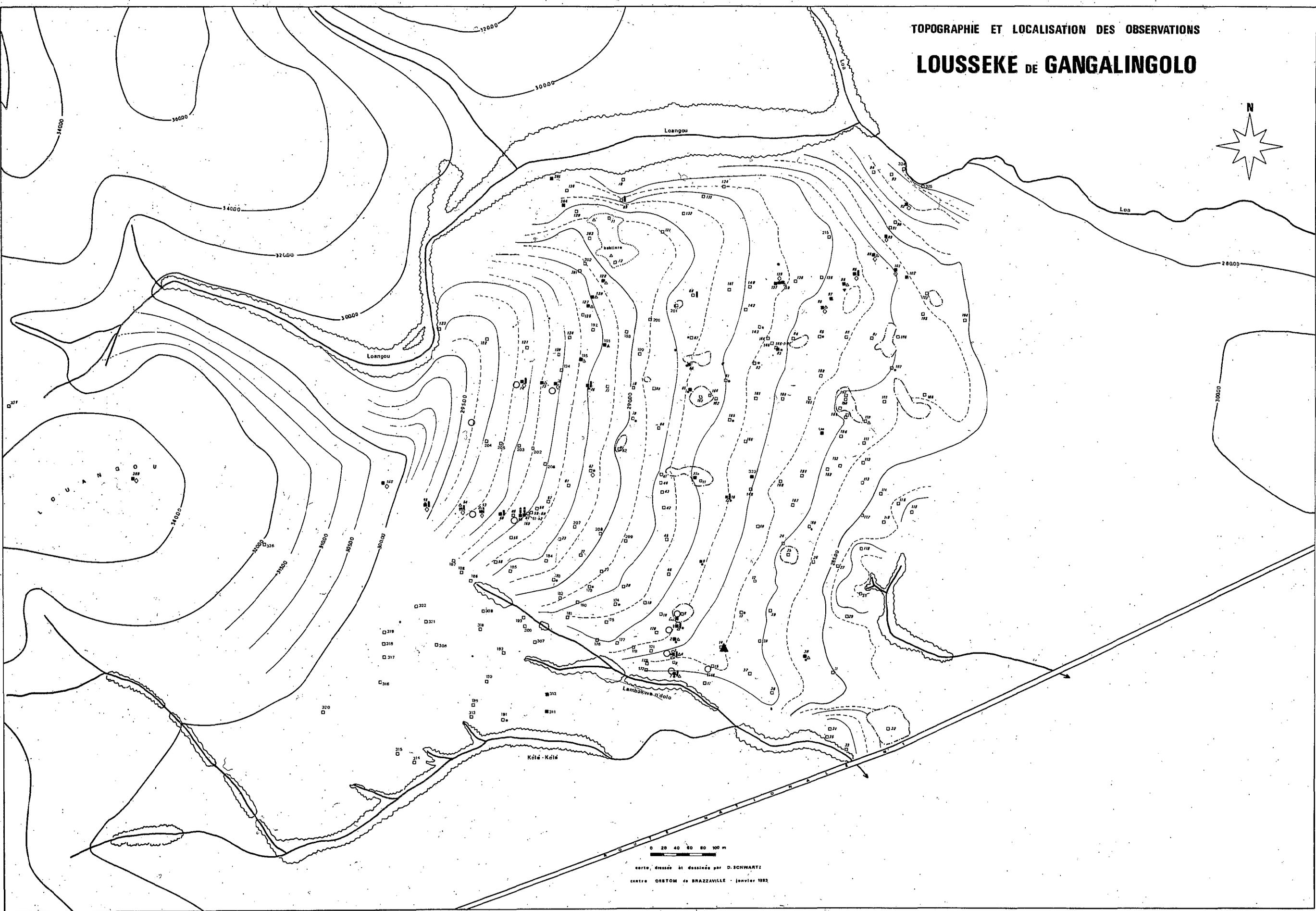


0 20 40 60 80 100m

Carte grossière et dessinée par D. SCHWARTZ
Centre ORSTOM de GRAZZAVILLE - Janvier 1982

TOPOGRAPHIE ET LOCALISATION DES OBSERVATIONS

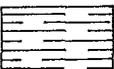
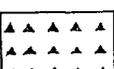
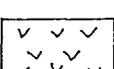
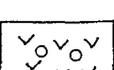
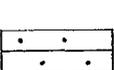
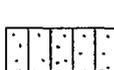
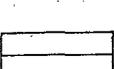
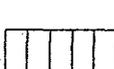
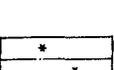
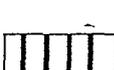
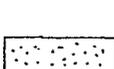
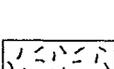
LOUSSEKE DE GANGALINGOLO

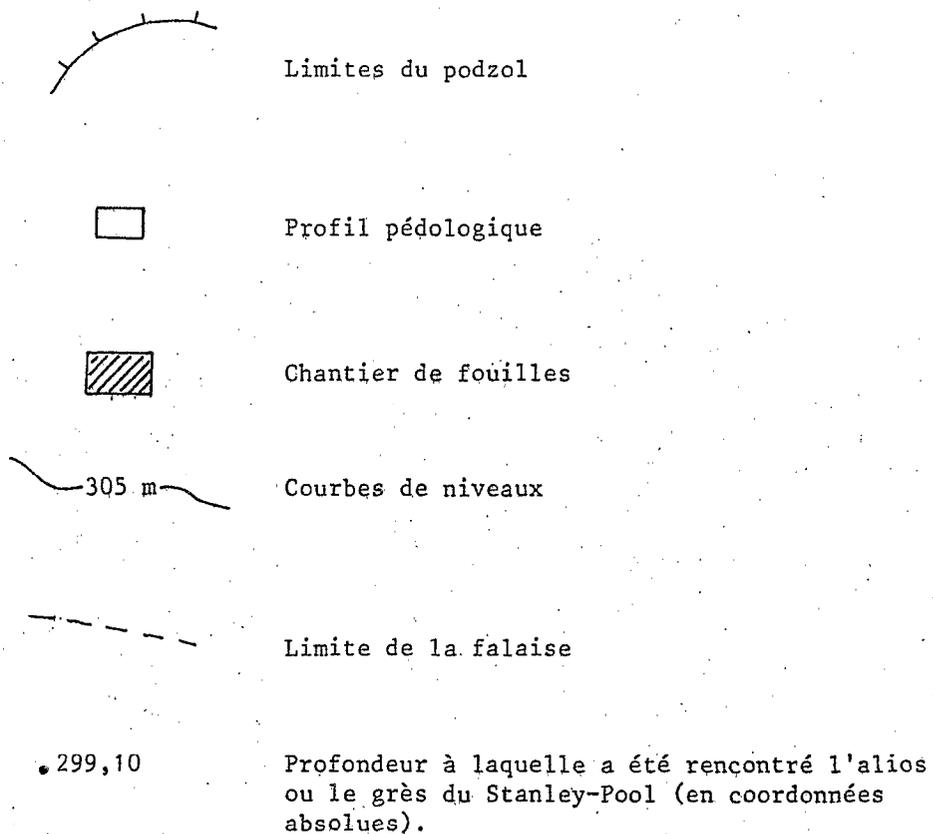


carte dressée et dessinée par D. SCHWARTZ
Centre ORSTOM de BRAZZAVILLE - Janvier 1983

LOUSSEKE DE GANGALINGOLO

CARTE N° 2 : Les sols

- | | | | | | |
|-----|---|---|-----|---|--|
| 1 |  | Sols hydromorphes, moyennement humifères, à gley, sur matériaux sableux. | 10b |  | Faciès anthropique de l'unité 10 |
| 2 |  | Sols peu évolués, d'origine alluviale, hydromorphes, sur sables Batéké. | 11a |  | Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire, à mull acide (de transition entre les unités 10 et 6 ou 7). |
| 3 |  | Paléopodzols, humiques ou non, à nappe secondaire et à humus semi tourbeux. | 11b |  | Faciès anthropique de l'unité 11. |
| 4 |  | Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire, sans A ₂ , et à humus semi-tourbeux | 12 |  | Sols ferrallitiques fortement désaturés, psammitiques, hydromorphes, série podzolisée. |
| 5a |  | Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire et à anmoor oligotrophe. | 13 |  | Sols ferrallitiques fortement désaturés, modaux, faciès anthropique, sur matériau argilo-sableux Inkisi. |
| 5b |  | Faciès anthropique de l'unité 5. | 14 |  | Sols ferrallitiques, fortement désaturés, psammitiques, sur sables Batéké, des sommets de colline. |
| 6 |  | Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire, à hydromull, série plus humide. | 15 |  | Sols ferrallitiques, fortement désaturés, psammitiques, sur sables Batéké, des hauts de pente. |
| 7 |  | Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire, à hydromull, série plus sèche. | 16 |  | Sols ferrallitiques, fortement désaturés, psammitiques sur sables Batéké, des bas de pente |
| 8 |  | Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire et à hydromull, à taches d'oxydo-réduction dans le A ₂ . | 17 |  | Sols ferrallitiques fortement désaturés, psammitiques, sur sables Batéké, des fonds de cirques. |
| 9 |  | Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire, de transition entre les unités 4 et 6 | 18 |  | Sols ferrallitiques fortement désaturés, humifères, appauvris, hydromorphes, sur sables Batéké. |
| 10a |  | Paléopodzols, humiques ou non, à mull acide. | 19 |  | Sols ferrallitiques fortement désaturés, hydromorphes, sur sables Batéké. |

PODZOL DE LA CONCESSION ORSTOM BRAZZAVILLE (PZO)CARTE N° 3

LEVERS TOPOGRAPHIQUES : R. BOSSENO, R. LANFRANCHI, D. SCHWARTZ, mai 1982.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Carte de Congo
- Figure 2 : Carte géologique simplifiée et localisation des observations.
- Figure 3 : Diagrammes ombrothermiques de trois stations
- Figure 4 : Bilan P-ETP-R.U.
- Figure 5 : Granulométrie des sables Batéké ; courbe cumulative type.
- Figure 6 : Chaîne de sols dans les vallées sableuses.
- Figure 7 : Chaîne de végétation dans les vallées sableuses.
- Figure 8 : Le lousséké du Bois de Bilanko.
- Figure 9 : Coupe schématique d'un lousséké sec des plateaux.
- Figure 10 : Outillage tshitolié provenant de Gangalingolo.
- Figure 11 : Le maillage des sentiers dans un lousséké (Plateau de Mbé).
- Figure 12 : Profils à B_h en bandes interrompus.
- Figure 13 : Localisation du lousséké de Gangalingolo.
- Figure 14 : Carte géologique au 1/500 000 du Stanley-Pool.
- Figure 15 : Les grandes unités morphopédologiques du périmètre d'étude.
- Figure 15' : Localisation des transects.
- Figure 16 : Représentation schématique des variations annuelles de la nappe perchée sur l'alias.
- Figure 17 : Exemple de battement de la nappe perchée en fonction de la pluviosité.
- Figure 18 : Circulations d'eau dans le lousséké de Gangalingolo.
- Figure 19 : Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire et à humus semi-tourbeux (profil GASC 7).
- Figure 20 : Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire et à hydromull (profil GASC 1).
- Figure 21 : Paléopodzol humique, à nappe perchée secondaire, et à hydromull, à taches d'oxydo-réduction dans le A_2 (profil GASC 92).
- Figure 22 : Exemples de paléopodzols hydromorphes humiques à mull acide.
- Figure 23 : Sol hydromorphe, moyennement humifère, à gley, sur matériau sableux (profil GASC 48).
- Figure 24 : Sol ferrallitique fortement désaturé, psammitique, hydromorphe, série podzolisée (profil GASC 95).
- Figure 25 : Sol ferrallitique, fortement désaturé, psammitique, hydromorphe, série podzolisée (profil GASC 96).

- Figure 26 : Sol ferrallitique, fortement désaturé, humifère, appauvri, hydromorphe (profil GASC 74).
- Figure 27 : Sol ferrallitique fortement désaturé, hydromorphe, sur sables Batéké (profil GASC 54).
- Figure 28 : Les principaux types de podzols à Gangalingolo.
- Figure 29 : Séquences lousséké hydromorphe.-versants.
- Figure 30 : Séquence lousséké hydromorphe-bordures basses.
- Figure 31 : Séquence lousséké sec-versants.
- Figure 32 : Les podzols les plus fréquents des formations batéké.
- Figure 33 : Principe de la méthode Bondy.
- Figure 34 : Fractionnement humique de l'aliôs (teneurs absolues)
- Figure 35 : Fractionnement humique de l'aliôs (pourcentages relatifs).
- Figure 36 : Fractionnement humique de podzols guyanais.
- Figure 37 : Fractionnement de la matière organique : échantillons GS 21
- Figure 38 : Granulométrie : toposéquence GASC.
- Figure 39 : Granulométrie : homogénéité des profils.
- Figure 40 : Histogramme des hétérométries.
- Figure 41 : Granulométrie des sables : différences sols-alluvions.
- Figure 42 : Localisation et topographie du podzol de la concession ORSTOM.
- Figure 43 : Coupe topographique du podzol ORSTOM.
- Figure 44 : Granulométrie des graviers alluviaux (PZO).
- Figure 45 : Sol ferrallitique, fortement désaturé, psammitique, dans sables batéké colluvionnés, sur paléosols (profil PZO 10).
- Figure 46 : Paléopodzol humique, à B_h en bandes, faciès anthropique (profil PZO 1).
- Figure 47 : B_h en bandes (PZO).
- Figure 48 : Position des outils au sommet de l'aliôs.
- Figure 49 : Occurrence de fossiles végétaux dans les aliôs.
- Figure 50 : Reconstitution des phases de podzolisation sur sables Batéké.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I : Distribution des podzols tropicaux.
- Tableau II-1 : Données climatologiques : moyennes 1950-1980.
- Tableau II-2 : Données climatologiques : station de Brazzaville, moyennes 1950-1960.
- Tableau III : Valeur de l'ETP mensuelle à Brazzaville.
- Tableau IV : Contexte paléoclimatique de la fin du Quaternaire.
- Tableau V : Trois relevés floristiques dans des loussékés.
- Tableau VI : Principales caractéristiques des loussékés.
- Tableau VII : Analyses d'eaux de nappe et de rivières.
- Tableau VIII : Humus et engorgement dans les loussékés.
- Tableau IX : Evolution de la matière organique.
- Tableau X : Proposition de nomenclature pour les sols de loussékés.
- Tableau XI : Taux de matières organiques et C/N des alios.
- Tableau XII : Teneurs en Fe, Al, Si de deux podzols.
- Tableau XIII : Caractéristiques des horizons d'accumulation des podzols.
- Tableau XIV : Granulométrie : Toposéquence GASC.
- Tableau XV : Granulométrie : différence sols-alluvions.
- Tableau XVI : Comparaison des teneurs en phosphore de différents podzols.
- Tableau XVII : La chronologie de PZO dans le Quaternaire du Stanley-Pool.
- Tableau XVIII : Détermination des différentes espèces trouvées à Gangalingolo dans un alios de podzol.
- Tableau XIX : Mesure du $\delta^{13}\text{C}$ de quelques sols et fragments végétaux.
- Tableau XX : Mesures d'âges par le ^{14}C .
- Tableau XXI : Podzolisation littorale : mesures d'âges et composition isotopique ^{13}C .
- Tableau XXII : Bilan des conditions de milieu de la podzolisation sur sables Batéké-

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

I.- Généralités sur les podzols tropicaux 1

II.- Les différents domaines de podzolisation au Congo 5

1.- La région côtière 5

2.- Le pays Batéké 5

III.- Quelle démarche pour l'étude des sols de l'ousséké? 6

PREMIERE PARTIE : APPROCHE SPATIALE DES LOUSSEKES ET DE LA PODZOLISATION

CHAPITRE I : LE MILIEU : LE PAYS BATEKE 9

I.- Le climat 9

A.- Caractérisation du climat 9

B.- Les données brutes 11

1.- Les températures 11

2.- Les précipitations 13

3.- L'humidité 13

C.- Bilan P-ETP-RU 13

II.- La Géologie 15

A.- Le soubassement 15

1.- Grès de l'Inkisi 15

2.- Grès du Stanley-Pool 15

B.- Les formations Batéké 15

1.- Les grès polymorphes 15

2.- Les sables ocres 16

C.- Caractéristiques du matériau sableux	16
1.- Introduction	16
2.- Caractéristiques générales	16
3.- Granulométrie de la fraction sableuse	17
4.- Morphoscopie	18
5.- Exoscopie	18
6.- Conclusion	19
III.- Le cadre physique	20
A.- Géomorphologie	20
1.- Les plateaux	20
2.- Les collines	21
B.- Hydrologie	21
1.- Zone des Plateaux	21
2.- Zone des collines	22
IV.- Les différents types de sols	22
A.- Les sols ferrallitiques	22
B.- Les sols hydromorphes	23
C.- Les podzols	23
V.- Les formations végétales	23
A.- Les savanes	23
1.- Les formations herbacées hautes	23
2.- Les formations herbeuses basses	24
B.- Les forêts	24
VI.- Le cadre chronologique de la fin du Quaternaire	24
CHAPITRE II : LE LOUSSEKE, UNITE DE PAYSAGE	27
I.- Le concept de lousséké	27
A.- Définition et origine	27
B.- Des significations très différentes	27
C.- Historique des travaux	28
1.- Une période de découverte	28
2.- Une période de cartographie	29
3.- Une période de réflexion	30

II.- Les caractéristiques intrinsèques des loussékés	30
A.- Deux sous-unités : le lousséké-sec et le lousséké hydromorphe	30
1.- Définition	30
2.- Hydromorphie	30
3.- Végétation	32
4.- Les sols	34
B.- Les loussékés : une histoire complexe	36
1.- Des points de convergence	36
2.- Des facteurs de divergence	37
III.- Le lousséké et son environnement	38
A.- Echelle du modelé : la place du lousséké dans le paysage	38
1.- Position topographique	38
2.- Formes et dimensions	39
B.- Echelle régionale : trois zones géographiques	39
1.- Les Plateaux	39
2.- Les loussékés drainés vers la Cuvette congolaise	42
3.- Les loussékés drainés vers le Stanley-Pool	42
4.- Conclusions	42
C.- Aspects cartographiques	43
1.- Généralités	43
2.- Utilisation des unités complexes	43
3.- Loussékés et sols ferrallitiques	43
IV.- Comparaison avec d'autres podzols tropicaux	44
A.- Podzols côtiers	44
B.- Formations continentales	45
V.- Conclusions	45
<u>CHAPITRE III : UTILISATION DES LOUSSEKES ET ANTHROPISEMENT DES PAYSAGES</u>	47
I.- Utilisation des loussékés	49
A.- Utilisation ancienne	49
1.- Pendant la Préhistoire	49
2.- Utilisation traditionnelle	50
B.- Utilisation actuelle	51
1.- Utilisation agricole	51
2.- Matériau de construction	51
C.- Utilisation possible	52

II.- Anthropisation des paysages	53
A.- Les conséquences directes de l'utilisation	53
1.- En surface	53
2.- Dans les sols	55
B.- Une végétation climax ou paraclimax ?	56
1.- Notion de climax	56
2.- Observations sur les loussekés	57
3.- Conclusions	59
<u>DEUXIEME PARTIE : FONCTIONNEMENT ET COMPORTEMENT ACTUEL DES SOLS</u> DE LOUSSEKE (Exemple du lousseké de Gangalingolo)	
<u>CHAPITRE IV : LE MILIEU ET LES FACTEURS DE DIFFERENCIATION</u>	63
I.- Description du site	63
A.- Le milieu physique	63
1.- La géologie	63
2.- Géomorphologie	66
3.- Hydrologie	67
B.- Les grandes unités du paysage	67
1.- Le lousseké hydromorphe	67
2.- Le lousseké sec	68
3.- Les zones "marginales"	68
4.- Le domaine ferrallitique	69
II.- Etude de la nappe d'eau	69
A.- Aspect dynamique	69
1.- Méthode	69
2.- Variations saisonnières	69
3.- Variations journalières	71
4.- Circulation d'eau dans l'allios	72
B.- Caractéristiques physico-chimiques	73
1.- Généralités	73
2.- Résultats	73
III.- Conclusion	74

<u>CHAPITRE V</u> : REPARTITION ET DYNAMIQUE ACTUELLE DES SOLS	77
INTRODUCTION	77
I.- Description monographique des sols de Gangalingolo	78
A.- Sols du lousséké hydromorphe	78
1.- Sols à anmoor et humus semi-tourbeux	78
2.- Les sols à hydromull	80
B.- Les sols du lousséké sec	84
1.- Paléopodzols humiques ou non, à mull acide	84
2.- Paléopodzols humiques, à nappe perchée secondaire, à mull acide	84
C.- Les sols des "marges" externes	86
1.- Les sols hydromorphes	86
2.- Les sols ferrallitiques de bas de pente	87
D.- Les sols des versants et sommets de collines	90
1.- Sur matériau Inkisi	90
2.- Sur sables Batéké	90
II.- Répartition spatiale des sols : transects	91
A.- Introduction :	91
1.- Généralités	91
2.- Echelles de variabilité	92
B.- Les variations internes au lousséké	92
C.- Le passage du lousséké hydromorphe aux versants	94
1.- Par l'intermédiaire des sols du lousséké sec	94
2.- Par l'intermédiaire des sols hydromorphes	94
D.- Cas particulier des bordures basses développées	96
E.- Cas des loussékés-secs	97
III.- Morphologie des sols et hydromorphie	97
A.- Influence de la nappe perchée sur les podzols	97
1.- Morphologie de l'horizon A ₁ /A ₂	97
2.- Morphologie des humus	98
3.- Evolution saisonnière de la matière organique	99
4.- Turn-over de la matière organique	100
B.- Influence de la nappe générale sur les sols de bordure	100
1.- Phénomènes de concrétionnement	100
2.- Phénomènes de soutirage latéral	101

IV.- Conclusions	102
A.- Dynamique de la podzolisation	102
B.- Les profils les plus fréquents	103
C.- Proposition de nomenclature	105
1.- Pour les formations Batéké	105
2.- Pour une classification plus générale	106
<u>CHAPITRE VI</u> : CONSTITUANTS ET ORGANISATION DES HORIZONS DIAGNOSTIC	109
I.- Caractérisation rapide des horizons d'accumulation	109
A.- Description morphologique	109
B.- Variations texturales et densité apparente	110
1.- Granulométrie	110
2.- Densité apparente	110
II.- Etude de la matière organique	111
A.- Matière organique totale	111
1.- Teneurs	111
2.- Stocks de matière organique dans les alios	112
3.- Rapports C/N	112
B.- Fractionnement de la matière organique	112
1.- Méthode	112
2.- Analyse du profil GASC 1	113
3.- Comparaison avec d'autres podzols hydromorphes	115
4.- Distinction entre horizons B spodiques et A ₁ enfouis	116
III.- Etude chimique et minéralogique	118
A.- Les sesquioxydes	118
1.- Le fer	118
2.- L'aluminium	119
B.- Nature des fractions minérales fines	120
1.- Résultats	120
2.- Recherche de la gibbsite	120
C.- Conclusions	121
IV.- Etude micromorphologique	121
A.- Microscopie optique	121
1.- Horizon B _{21h}	121
2.- Horizons B _{22h} et B _{23h}	122

B.- Microscopie électronique à balayage	122
1.- Horizon B21h	122
2.- Horizon B22h	123
3.- Horizon B23h	123
C.- Microscopie électronique à transmission	123
1.- Horizon B21h	124
2.- Horizon B22h	124
3.- Horizon B23h	124
4.- Débris de racines	125
5.- Conclusion	125
D.- Synthèse de l'observation micromorphologique	126
1.- Horizon B21h	126
2.- Horizon B22h	126
3.- Horizon B23h	127
V.- Conclusion	127
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE	129
<u>TROISIEME PARTIE : DYNAMIQUE HISTORIQUE DE LA PODZOLISATION ET DES PAYSAGES</u>	
<u>CHAPITRE VII : REMANIEMENTS DES SOLS ET EVOLUTION DES PAYSAGES</u>	133
I.- Les remaniements des sols : revue bibliographique	134
A.- Les stone-lines, définition et propriétés	134
B.- Rappel des différentes théories expliquant les stone-lines	134
1.- Les remaniements biologiques	134
2.- Enfouissement sur place	135
3.- Les remaniements latéraux	135
4.- Le soutirage chimique	136
5.- Les processus multiples	136
C.- Existence de remaniements latéraux au Congo	136
1.- Le littoral	136
2.- La Cuvette congolaise	136
3.- Le Mayombe et la Sangha	136
4.- Formations Batéké	137
D.- Cas particulier des loussekés	137
1.- Preuves des remaniements latéraux	137
2.- Les explications anciennes	138
II.- Nouvelles données sur les sables Batéké	139
A.- Homogénéité verticale des profils	139

B.- Homogénéité spatiale des sables	139
1.- Echelle du modelé	139
2.- Echelle régionale	141
3.- Conclusion	142
C.- Hétérométrie du matériau et des alluvions	143
1.- Le matériau sableux	143
2.- Les alluvions	144
III.- Conclusion : Remaniements et formation des paysages	144
A.- Type de remaniement	
B.- Age des remaniements	146

CHAPITRE VIII : APPROCHE PEDO-ARCHEOLOGIQUE DES PHASES DE
FORMATION DES PODZOLS 149

I.- Description du site	149
A.- Géologie et géomorphologie	149
1.- Généralités	149
2.- Géologie	151
3.- Géomorphologie	151
B.- La couverture pédologique	153
1.- Les sols	153
2.- Principales caractéristiques des horizons diagnostic	155
C.- Anthropisation du site	157
1.- Pendant la Préhistoire	157
2.- Anthropisation récente	158
II.- Reconstitution de différentes phases pédogénétiques	158
A.- Un alios mis à nu	158
1.- Arguments fondés sur l'observation	158
2.- Arguments analytiques	159
3.- Un cas non isolé	160
B.- Les niveaux de recouvrement	161
1.- L'horizon A ₂	161
2.- La formation de l'horizon B _{21h}	161
3.- Les B _h en bandes	
III.- Chronologie de la mise en place des matériaux et de la pédogénèse	162
A.- Chronologie relative	162
1.- Des épisodes anciens	162
2.- Une première phase de podzolisation	163
3.- Des phases de remaniement	163
4.- De nouvelles phases de pédogénèse	163

B.- Intégration dans la chronologie quaternaire du Stanley-Pool	163
IV.- Conclusion	165
<u>CHAPITRE IX : APPROCHE ANALYTIQUE DES PALEOENVIRONNEMENTS</u>	167
I.- Etudes paléobotaniques	167
A.- Occurrence de végétaux fossiles dans les alios	167
1.- Abondance	167
2.- Localisation des observations	169
B.- Etude des fossiles végétaux de Gangalingolo	170
1.- Morphologie du gisement	170
2.- Détermination et caractéristiques des espèces	171
3.- Interprétation écologique	172
4.- Comparaison avec la Cuvette congolaise	173
C.- Composition isotopique ^{13}C des matières organiques	174
1.- Méthodologie	174
2.- Résultats	175
3.- Conclusion	177
II.- Les données de la radiochronologie	177
A.- Introduction	177
1.- Principe de la méthode	177
2.- Datations absolues et âges moyens	178
3.- Données bibliographiques sur les âges moyens des horizons spodiques	179
B.- Résultats et interprétation	180
1.- Problème de contamination par du carbone actuel	180
2.- Interprétation des datations absolues	181
3.- Interprétation des âges moyens de la matière organique	182
4.- Conclusion	184
III.- La podzolisation littorale	184
A.- Introduction	184
B.- Datations ^{14}C	185
C.- Mesures du $\delta^{13}\text{C}$	185
D.- Conclusions	185
IV.- Conclusion : Ecologie de la podzolisation sur sables Batéké	186

<u>CHAPITRE X</u> _-: FORMATION DES PAYSAGES ET HISTOIRE DE LA PODZOLISATION - BILAN DES APPROCHES	189
I.- Reconstitution et chronologie de la podzolisation	189
A.- Le Maluekien	189
B.- Le Njilien	191
1.- Elimination du fer	191
2.- Première phase de podzolisation	191
3.- Induration de l'aliôs	193
C.- Le Léopoldvillien	193
D.- Le Kibangien	193
1.- Podzolisation hydromorphe	194
2.- Amélioration du drainage externe	195
3.- Podzolisation en milieu drainé	196
D.- Actuel	196
1.- Dynamique des humus dans les loussékés	196
2.- Origine de la végétation des loussékés	197
3.- Faciès podzologique des sols ferrallitiques forestiers	197
II.- Contribution à la paléogéographie du Stanley-Pool	197
A.- Morphogénèse des paysages et pédogénèse	197
1.- Les remaniements de sols	197
2.- Pérennité des sites de podzolisation	198
B.- Chronologie du Quaternaire du Stanley-Pool	199
1.- Aspects paléogéographiques	199
2.- Aspects chronologiques	201
CONCLUSION	203
CONCLUSIONS GENERALES	207
I.- Les loussékés et la podzolisation sur sables Batéké	207
A.- L'unité de paysage lousséké	207
B.- Histoire de la podzolisation	208
C.- Mécanismes de la podzolisation	208
II.- Le pays Batéké et le Congo	209
A.- Evolution paléogéographique du Stanley-Pool	209
B.- Chronologie du Quaternaire au Congo	209
C.- La podzolisation au Congo	209

III.- Les podzols tropicaux	210
IV.- Aspects méthodologiques	210
A.- Intérêt d'une démarche pédo-archéologique	210
B.- Podzols et Quaternaire	211
BIBLIOGRAPHIE	213
ANNEXES	227

ORSTOM Éditeur
Dépôt légal : janvier 1988
Impression
ORSTOM BONDY

RÉSUMÉ :

Les «loussékés» sont une unité de paysage typique des sables Batéké. Cette unité se caractérise par la présence systématique de podzols très développés (podzols géants) et anciens, ainsi que par une végétation steppique. La position originelle des loussékés est celle de bas-fonds hydromorphes, mais l'existence d'un gradient d'évolution permet de définir deux sous-unités : le lousséké hydromorphe, où l'influence d'une nappe battante se fait sentir sur les sols en saison des pluies, et le lousséké sec, exondé, souvent en position de terrasse. Si l'histoire géomorphologique de cette unité est longue de 40 000 ans, le paysage lousséké est le fruit d'une anthropisation poussée, qui lui a conféré son expression définitive. En effet, les formations steppiques, qui, avec les podzols, sont typiques des loussékés, paraissent être une formation relativement récente, vieilles au plus de 2-3 millénaires, liées à la pratique des brûlis, et donc indissociables de l'anthropisation importante et généralisée qui caractérise les paysages actuels du Congo.

Une approche originale de la podzolisation en milieu tropical, fondée sur la multiplication et la confrontation des niveaux de perception (pédologie, sédimentologie, géomorphologie, radiochronologie, paléobotanique, isotopie ^{13}C , préhistoire) a permis de préciser l'histoire et l'écologie de la podzolisation sur sables Batéké.

Il est ainsi apparu que ces podzols ont une histoire extrêmement complexe, faite de successions de phases de pédogénèse entrecoupées d'arrêts et de phases de remaniement. Il a été possible de distinguer trois épisodes de podzolisation en liens étroits avec les environnements climatiques, géomorphologiques et floristiques. Mais l'essentiel de la formation des podzols s'est fait en position de bas-fonds hydromorphes et sous couvert forestier au Njilien (40 000-30 000 BP), qui est une période climatique plus humide que l'actuelle. Ces podzols sont donc des sols reliques, qui constituent une couverture pédologique en déséquilibre avec les actuelles conditions de milieu. Leur environnement présent ne permet en rien d'appréhender l'influence des facteurs écologiques sur la podzolisation.

Par ailleurs, il apparaît que, tout comme dans les régions tempérées, les podzols sont d'excellents témoins des variations de milieu, dont ils conservent la mémoire ; ils ont ainsi permis de préciser différents épisodes de l'évolution géomorphologique, climatique et chronologique du Stanley-Pool (région de Brazzaville), au cours des quarante derniers millénaires. Ces épisodes paraissent en particulier synchrones des variations des paléoenvironnements bien connus sur le littoral.

MOTS CLÉS :

Congo - Quaternaire - Lousséké - Sables Batéké - Podzolisation - Podzols hydromorphes tropicaux - Paléoenvironnements - Paléosols.