Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. VII, nº 1, 1969.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES « STONE LINES » EN RÉGIONS TROPICALE ET ÉQUATORIALE

par J. RIQUIER*

RÉSUMÉ

L'étude de la genèse des « stone-lines » dans les régions tropicales et équatoriales est difficile par suite de l'interprétation souvent contestable des analyses mécaniques, granulométriques, minéralogiques et chimiques destinées à prouver l'allochtonie ou l'autochtonie des formations. En effet, l'allochtonie à peu de distance peut se confondre avec une autochtonie avec remaniement sur place.

Des observations nombreuses de profils et de leur contexte géologique et géomorphologique, l'auteur déduit la formation de la « stone-line » proprement dite sous forme d'un pavage d'érosion et son recouvrement ultérieur par des colluvions. Mais ce processus opère à l'échelle de la colline, ou éventuellement remanie à cette échelle une vieille surface de pédimentation de plus grande extension. L'âge important de la plupart de ces « stone-lines », plus de 40 000 ans, est aussi une difficulté à leur interprétation, mais leur genèse est continue et encore actuelle. Le cycle érosion-colluvionnement en un même point peut se rencontrer dans d'autres régions du globe.

SUMMARY

The genetic study of stone line is difficult because of the often doubtful interpretation of mechanical, granulometrical, mineralogical and chemical analysis used for proving allochtony or autochtony of layers. An allochtony over a short distance may be misinterpreted with autochtony accompanied by homogeneisation.

From the observation of many profiles in their geological and geomorphological environments, the author assumes that the stone line is an « erosion-pavement » covered subsequently by colluvium. But this process is valid at the level of a hill or eventually modify, at this level, an old more extensive pediment. The old age of many of the stone lines, more than 40 000 years old, makes interpretation difficult but their formation is continuous and yet actual. This erosion-colluviation cycle on a same site occurs in other regions of the globe.

* Directeur de recherches ORSTOM. FAO. Rome

PLAN

INTRODUCTION

Définition de la « stone line ». Son importance. Problèmes posés par sa genèse.
Méthodes d'étude et critique de ces méthodes.

1. ÉTUDE DE LA « STONE LINE »

1.1. Matériaux constituants
1.2. Origine des matériaux
1.3. Morphologie de la « stone line »
1.4. Ondulations de la « stone line »
1.5. « Stone lines » mixtes
1.6. « Stone lines » doubles
1.7. Autres variantes de la « stone line »
1.7.1. « Stone line » entre les horizons A et B d'un profil
1.7.2. Horizons caillouteux
1.7.3. Autres horizons pédologiques

2. ÉTUDE DE LA NAPPE DE RECOUVREMENT

2.1. Nature de la nappe de recouvrement
2.1.1. Étude granulométrique du sol
2.1.2. Courbes granulométrique des sables
2.1.3. Morphoscopie
2.1.4. Minéraux lourds
2.2. Mise en place de la nappe de recouvrement
2.2.1. Vent
2.2.2. Termites
2.2.3. Descente des éléments grossiers dans le profil
2.2.4. Colluvionnement

3. DATATION DE LA « STONE LINE » ET DE LA NAPPE DE RECOUVREMENT

3.1. Datation par les outils préhistoriques
3.2. Age réel des « stone lines »
3.3. Résumé

4. CONCLUSIONS

4.1. Discontinuité entre deux horizons d'un profil
4.2. Reconstitution paléogéographique et géomorphologique
4.3. Conséquences agronomiques
4.4. Paléopédologie
4.5. Pédogenèse : équilibre érosion-altération

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Beaucoup d'études ont été consacrées aux problèmes des « stone lines » par les géographes, géomorphologues, géologues et pédologues. Beaucoup d'hypothèses ont été présentées, mais, malgré des études scientifiques très poussées, des analyses très complètes, telles que celles qui ont été publiées récemment dans deux rapports du B.R.G.M. (MARCHESSEAU 1965, VINCENT 1965), il est difficile de prouver les processus de genèse. D'une part, les techniques actuelles manquent souvent de précision ; d'autre part, différents modes de mise en place des « stone lines », simultanés ou successifs, ont pu intervenir. Elles paraissent à la fois complexes en un point déterminé, et diverses d'une région à une autre. La plupart du temps, une analyse serrée n'aboutit qu'à une hypothèse ou a une probabilité.

La formation des « stone lines », terme impropre d'après de nombreux auteurs, mais cependant toujours utilisé par le plus grand nombre d'entre eux*, est un fait très important de la pédogenèse tropicale en Afrique, en Asie, en Amérique du Sud et même dans certaines parties de l'Amérique du Nord. Nous définirons cette formation comme une nappe de matériaux grossiers (quartz, concrétions, morceaux de roche, etc...) enterrée sous 1 à 5 m de matériaux beaucoup plus fins, plus homogènes, formant couverture. L'érosion actuelle peut cependant la faire apparaître en surface.

Son importance est grande du point de vue scientifique ; elle constitue une difficulté dans l'établissement de la pédogenèse à partir d'une roche in situ, mais par contre elle doit permettre des reconstitutions paléoclimatiques. Du point de vue économique, elle est souvent un obstacle à l'agriculture, mais quelquefois améliore au contraire le drainage, et donc la productivité. Elle est surtout une source de matériaux pour la construction des routes (gravillons latéritiques). Elle devrait être une zone préférentielle de concentration des minéraux lourds.

Beaucoup d'hypothèses ont été formulées pour expliquer sa formation. Nos observations, faites à Madagascar et au Congo-Brazzaville (région de Boko, Mindouli, Sounda, massif du Chaillu), permettent d'en choisir une pour la « stone line » proprement dite (pavage sur une ou plusieurs surfaces d'érosion), mais plusieurs, seulement probables, pour la couverture (colluvions par ruissellement et reptation, remaniement par la faune et la flore). La datation des « stone lines », donc de la surface d'érosion, sera aussi abordée dans cette étude.

PROBLÈMES POSÉS

Pour simplifier, nous appellerons niveau I : la masse de sol couvrant la nappe de matériaux grossiers, masse dans laquelle on peut d'ailleurs distinguer des horizons pédologiques ; niveau II : la « stone line » ou nappe de matériaux grossiers ; niveau III : la masse de roche altérée se trouvant en dessous de la « stone line » ; niveau IV : la roche proprement dite (voir planche I).

Les principaux problèmes à résoudre sont :

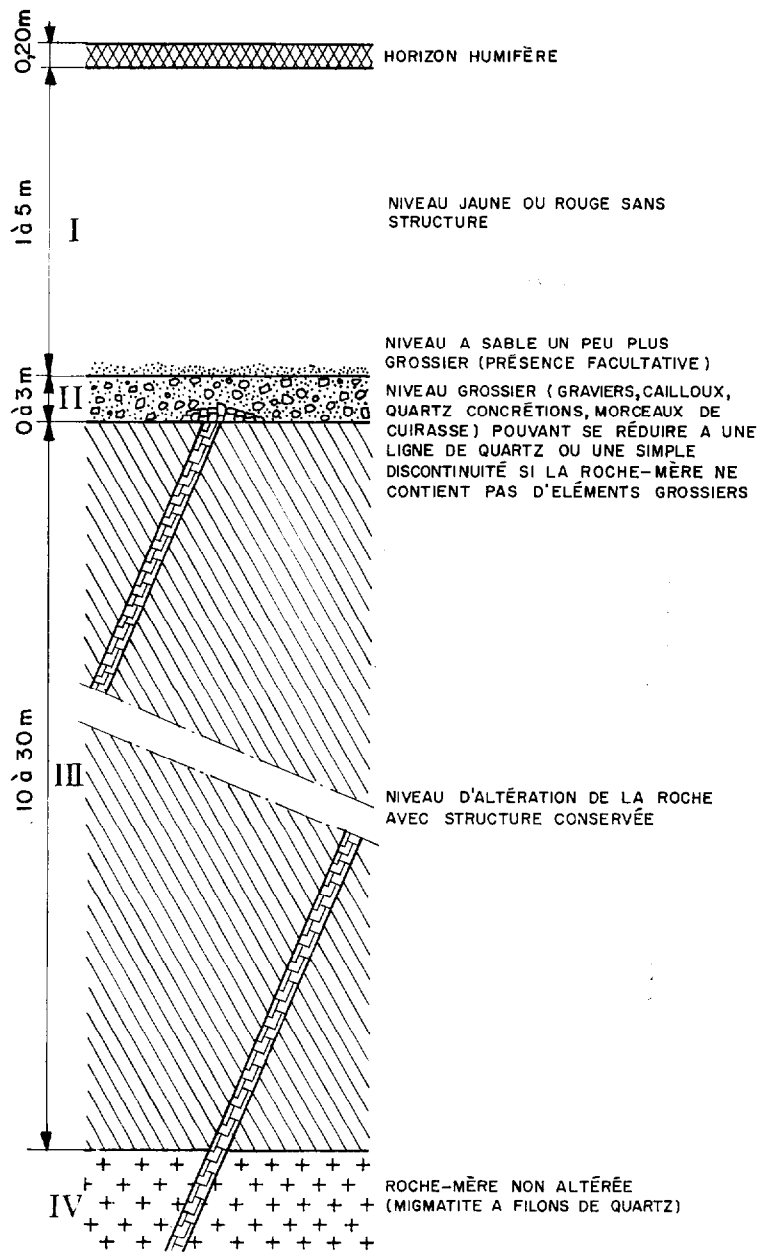
1. - expliquer pourquoi et comment les matériaux grossiers se sont rassemblés en une nappe, et à quelle époque ;
2. - pour cela, déterminer la nature autochtone ou allochtone des matériaux et leur origine ;
3. - expliquer la mise en place de la couverture ;
4. - donc aussi préciser son autochtonie ou son allochtonie et sa datation.

---

* Nous l'employons pour sa brièveté, pour son usage international, bien que ce ne soit pas une ligne (ou alors très épaisse sur certaines coupes) mais plutôt une nappe (dans l'espace), et qu'elle ne soit pas nécessairement constituée de pierres (car souvent ce sont des graviers, des concrétions).

PLANCHE I

COUPE SCHÉMATIQUE D'UN SOL FERRALLITIQUE REMANIÉ



MÉTHODES D'ÉTUDE ET CRITIQUE DE CES MÉTHODES

Pour apprécier l'autochtonie ou l'allochtonie des matériaux de la « stone line » ou de la couverture, la méthode la plus classique est de comparer ces matériaux entre eux à l'aide des analyses suivantes :

A. Analyse granulométrique du sol total. Cette analyse donne des résultats, mais l'identité granulométrique entre deux niveaux n'est jamais parfaite, par suite :

1. - du lessivage pédologique des argiles ;
2. - de l'altération plus ou moins grande des sables fins et limons pour donner de l'argile ;
3. - de la formation de pseudosables dans certains horizons pédologiques ;
4. - de l'hétérogénéité de la roche-mère.

Si l'identité n'est pas parfaite, on ne peut conclure d'une manière formelle à l'autochtonie.

B. Analyse granulométrique des sables entre 2 et 0,02 mm. On élimine plus ou moins le lessivage de l'argile et l'altération des limons comme sources d'erreur, surtout si on compare les courbes cumulatives de répartition de la granulométrie. Malheureusement, là encore, les pseudosables et pseudoconcrétions causent un élément de trouble et les courbes ne sont que rarement parfaitement identiques.

C. La morphoscopie des sables. Il est souvent difficile de distinguer les sables éoliens des sables dépolis chimiquement. Certains quartz bipyramidés trouvés dans des granites se présentent souvent comme subarrondis après avoir subi une légère corrosion chimique dans la zone d'altération. Enfin, l'hétérogénéité de certaines couches géologiques sédimentaires est grande, et cette hétérogénéité se retrouve dans le niveau III. Il est alors difficile de comparer le niveau I au niveau III hétérogène. Enfin l'histoire d'un grain de sable est souvent compliquée, et il est difficile de faire la part de l'érosion physique par l'eau et le vent, le sable ayant été repris plusieurs fois, souvent même avant son intégration à la roche sédimentaire.

D. L'étude quantitative des minéraux lourds est malheureusement assez peu précise, car leur nombre est relativement faible dans la plupart des sols ferrallitiques, et leur reconnaissance qualitative assez difficile. Leur degré d'usure est aussi difficile à apprécier, car beaucoup subissent une attaque chimique. Une étude en cours de A. NOVIKOFF sur l'altération dans le massif de Chaillu apportera plus d'informations sur ce problème.

E. La détermination de la nature minéralogique des argiles peut également guider l'interprétation. Des identités nettes, telles que celles des échantillons ST 41 et ST 43, semblent prouver une autochtonie ou du moins une allochtonie faible. Par contre, la comparaison de ST 71 et ST 73 ne permet pas de conclure. La kaolinite augmente en surface, l'illite diminue, ce qui peut être dû à une altération du type ferrallitique plus intense dans le niveau I que dans le niveau III, mais l'hématite disparaît en même temps, ce qui est plus étonnant (voir résultats d'analyses, tableau I).

D'autre part, on peut penser que ces méthodes ne conduisent pas à des conclusions formelles en raison du principe suivant : il faut admettre l'indépendance de la qualité et de la quantité des matériaux, c'est-à-dire de leur constitution chimique et de leur granulométrie.

Une coupe étudiée par LAPORTE (1962) en est un exemple (coupe mixte du pK 111,5 du Comilog, planche II, fig. 1). La couverture paraissait directement en relation avec la roche-mère sous-jacente d'après

* communication orale de VINCENT du B.R.G.M.

l'analyse granulométrique ; en effet, la couverture sableuse correspondait aux grès, la couverture argileuse aux argilites. Or, l'analyse des argiles et des sables, faite par le B.R.G.M.*, montre que l'argile de la couverture est probablement un mélange des produits d'altérations des grès et des argilites (kaolinite + illite). Une séparation mécanique ultérieure a laissé le sable sur la croupe et entraîné l'argile sur le flanc de la colline.

TABLEAU I : Couples d'échantillons prélevés au Congo et analysés par le laboratoire de l'ORSTOM à Bondy.

— ST 41*	Kaolinite
	Illite
	Goethite importante
ST 43	Kaolinite
	Illite
	Goethite importante
— ST 71	Kaolinite
	Traces possibles d'Illite
	Goethite
ST 73	Kaolinite
	Un peu d'Illite
	Hématite
	Un peu de Goethite

Un deuxième exemple est donné par la coupe relevée entre Kibanda et Boko (planche II, fig. 2 et tableau I bis). L'analyse granulométrique fait croire à une identité presque parfaite entre les profils ST 11 et ST 12 situés sur une même pente, à 50 m de distance. Par contre, la somme des bases totales en mé/100 gr. montre une différence notable. Il est probable que le matériau originel n'est pas le même, l'un dérivant de l'Inkisi, l'autre de Mpioka, mais qu'un processus érosif identique (même intensité du ruissellement par exemple) a classé granulométriquement les sols de la même façon. On peut souligner au passage l'intérêt de la détermination des bases totales pour différencier des sols issus de matériaux différents.

Quelques résultats d'analyses chimiques et granulométriques sont donnés en titre d'exemples (tableau II). Ils correspondent à des échantillons cités par ailleurs dans le texte. Suivant les cas, ces analyses nous ont permis de conclure ou à une allochtonie nette de la couverture (cas rare), ou, le plus généralement, soit à une allochtonie de faible déplacement, soit à une autochtonie avec remaniement sur place.

L'étude des coupes sur le terrain, leur position dans un système géomorphologique, de préférence à la limite entre deux étages géologiques, l'étude de l'érosion actuelle sur « stone line », nous apprend peut-être plus sur le procédé de mise en place de ces formations que les analyses de laboratoire. C'est pourquoi nous donnons aussi en annexe de nombreuses planches illustrant les profils et les coupes observés, et les hypothèses que nous avons émises pour les expliquer.

Nous allons étudier successivement la « stone line » proprement dite, la couverture, la datation de ces éléments, enfin les conséquences sur la pédogenèse.

* Échantillons prélevés au-dessus de la « stone line » (ST 41 et ST 71) et au-dessous de la « stone line » (ST 43 et ST 73)

PLANCHE II

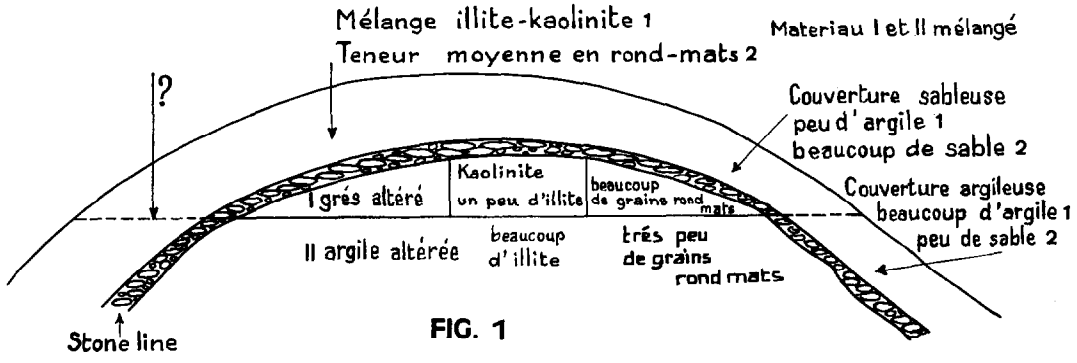


FIG. 1

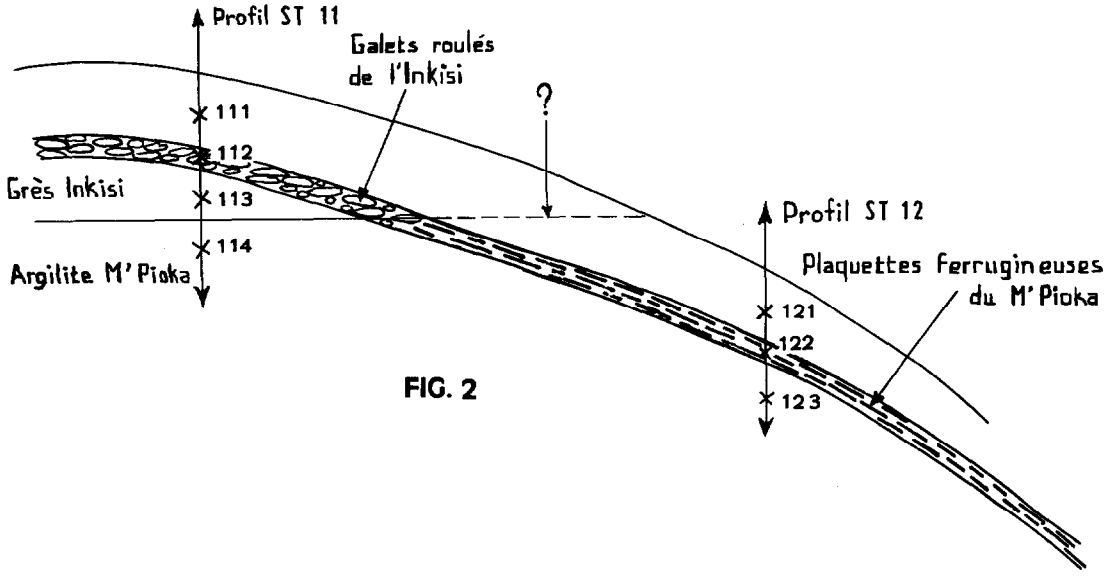


FIG. 2

FIG. 1 et FIG. 2 : deux exemples où la granulométrie et la qualité minéralogique et chimique des matériaux semblent se comporter comme des caractéristiques indépendantes.

TABLEAU I bis

Analyse granulométrique

Argile	ST	111	67,9 %	ST	121	68,2 %	Sable	ST	111	9,6 %	ST	121	6,6 %
		112	71,1 %		122	65,2 %			112	7,8 %		122	9,0 %
		113	62,6 %		123	60,6 %			113	5,0 %		123	7,1 %
		114	33,1 %						114	41,5			
Limon	ST	111	20,7 %	ST	121	24,0 %							
		112	23,3 %		122	22,6 %							
		113	29,0 %		123	32,6 %							
		114	25,5										

Analyse chimique

Bases totales meq/100 g

ST	111	13,03 %	ST	121	7,95 %
	112	11,52 %		122	5,79 %
	113	12,70 %		123	7,33 %

TABLEAU II

	N° Echantillon ST	41	*42**	43	51	*52**	53	71	*72**	73
Couleur	Terre sèche	10YR 7/6	5YR 6/6	5YR 6/6	2,5YR 6/2	2.5YR 6/2	2.5YR 6/2	5YR 6/3		10YR 6/2
	Terre humide	7.5YR 5/6	2.5YR 4/6	2.5YR 4/6	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4	2.5YR 3/4	2.5YR 4/4		10YR 5/2
Granulométrie	Terre fine %	100	22,5	100	96,5	30,3	100	99,5		62,2
	Argile	55,9	42,9	44,2	39,5	37,5	35,2	28,9		13,8
	Limon fin	13,2	18,2	24,2	14,2	15,8	18,9	4,9		8,4
	Limon grossier	13,7	12,2	16,4	9,6	9,6	11,0	3,6		3,4
	Sable fin	14,4	15,6	15,0	15,4	15,3	18,0	14,2		10,4
	Sable grossier	1,9	11,4	1,3	21,3	23,3	15,9	48,0		63,8
Bases totales pour 100 g	CaO méq		0,20	0,20	0,2	0,2				
	MgO méq	3,50	1,19	1,37	1,79	2,79	3,29	1,39		0,89
	K_2O méq	8,09	4,94	6,1	6,7	5,25	5,17	1,25		0,82
	Na_2O méq	0,13	0,13	0,13	0,26	0,26	0,04	0,13		0,04
	somme méq	11,72	6,46	7,80	8,95	8,50	8,50	2,77		1,75
	P_2O_5 total mg/100 g	35,5	61,4	31,4	42,3	34,1	30,0	36,9		27,3
Bases échangeables	CaO méq	0,65	0,26	0,20		0,165	0,165			
	K_2O méq	0,13	0,09	0,06		0,04	0,04			
	Na_2O méq		0,03	0,09		0,04				
	somme méq	0,90	0,43	0,35		0,32				
	Capacité d'éch. méq/100 g	6,10	6,30	10,10		4,20	6,30			
	Degré de saturation %	14	6,8	3,5						
	Fe_2O_3 libre %		6,82	4,36	3,44	3,16	3,60			
	Fe_2O_3 total %	7,4	10,48	7,2	6,36		6,80			3,4

* Les échantillons en italique correspondent à la terre fine prélevée au milieu des éléments grossiers de la « stone line ».

TABLEAU II (suite)

	N° Echantillon ST	111	*112**	113	114	121	*122**	123
Couleur	Terre sèche	2.5YR 6/4	2.5YR 6/4	2.5YR 5/4	2.5YR 4/6	7.5YR 6/4	2.5YR 6/4	2.5YR 6/4
	Terre humide	2.5YR 4/6	2.5YR 4/6	2.5YR 4/4	2.5YR 4/4	2.5YR 4/6	2.5YR 4/6	2.5YR 4/6
	Terre fine %	92,8	12,0	75,1	100	100	28,9	99,3
Granulométrie	Argile	67,9	71,1	62,6	33,1	68,2	65,2	60,6
	Limon fin	12,6	12,1	18,7	16,5	12,7	13,4	21,0
	Limon grossier	8,1	11,2	10,3	9,0	11,3	9,1	11,6
	Sable fin	4,6	4,5	4,6	35,7	5,4	4,2	5,3
	Sable grossier	4,8	0,57	3,2	5,8	1,1	4,8	1,8
Bases totales pour 100 g	CaO méq	0,6	0,6	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2
	MgO méq	3,64	3,29	3,58	3,29	2,47	1,72	2,21
	K_2O méq	8,57	7,37	8,3	8,3	5,02	3,74	4,79
	Na_2O méq	0,22	0,26	0,22	0,22	0,26	0,13	0,13
	somme méq	13,03	11,52	12,70	12,21	7,95	5,79	7,33
	P_2O_5 total mg/100 g	36,9	27,3	6,8	34,1	28,7	25,9	19,1
Bases échangeables	K_2O méq	0,12	0,13	0,09		0,12	0,12	0,08
	Na_2O méq		0,01	0,04		0,01		0,04
	Capacité d'échange méq/10 g	13,60	13,70	13,10		13,20	12,90	15,80

* Les échantillons en italique correspondent à la terre fine prélevée au milieu des éléments grossiers de la stone line

1 - ÉTUDE DE LA « STONE LINE »

1.1 - MATÉRIAUX CONSTITUANTS

Les matériaux les plus fréquents sont les blocs de quartz provenant des filons de la roche-mère (gneiss, schiste, etc.), des cherts siliceux provenant de la dissolution de certains calcaires, des galets provenant de poudingues, des concrétions ferrugineuses lorsque la zone d'altération est, ou était, hydromorphe (concrétions ferrugineuses globuleuses renfermant des grains de quartz sur les grès et les sables, plaquettes ferruginisées où l'on reconnaît encore le litage des micas sur les argilites), des morceaux de roches altérés en gibbsite et enveloppés d'une pellicule de fer (pseudoconcrétions), etc.

Tous ces éléments sont le plus souvent inaltérables. Cependant, il existe des « stone lines » constituées de morceaux de roche peu altérés, granites, calcaires ou dolomies par exemple (planche III, fig. 1). Dans ce cas, on peut conclure à une « stone-line » récente et même actuelle (érosion plus rapide que l'altération.

On peut dire cependant qu'en règle générale, la « stone line » est formée de matériaux inaltérables, soit par suite de leur nature même (quartz), soit par la protection d'une pellicule d'oxyde de fer. Elle est donc constituée par des résidus d'altération ou par des néoformations ferrugineuses.

L'altération ferrallitique prédispose en effet à l'existence de ces résidus très grossiers inaltérables, quartz, concrétions, pseudoconcrétions, car elle donne naissance d'une part à des résidus grossiers inaltérables, ou à des néoformations, de l'autre à des produits très fins : argiles kaoliniques par exemple. Les limons et les éléments intermédiaires sont presque inexixtants.

1.2 - ORIGINE DES MATÉRIAUX

Les matériaux constituant la « stone line » ont pour origine :

1. - soit la partie inférieure du profil, donc la zone d'altération de la roche où l'on retrouve les mêmes éléments grossiers ;

2. - soit, au contraire, la partie supérieure du profil ; ce sont alors :

a. des éléments grossiers provenant des résidus d'un étage géologique, maintenant complètement décapé à l'endroit observé, mais dont les affleurements actuels peuvent se trouver à 10 ou 100 km (cas des sables du Kalahari à 70 km des sols étudiés par WATSON (1965) ;

b. des galets d'une ancienne rivière dont le cours a traversé la région autrefois ;

c. des résidus surtout des concrétions ferrugineuses de sols anciens qui étaient situés à une distance maxima de 1 km environ (donc appartenant à un même bassin versant).

La présence de galets provenant soit d'un étage géologique, soit d'un ancien cours de rivière ne doit pas suggérer l'allochtonie de la « stone line », car elle s'est en général formée sur place à partir d'éléments apportés de très loin par des processus érosifs d'une autre ère géologique.

Formation de la stone-line sur place
(processus actuel)

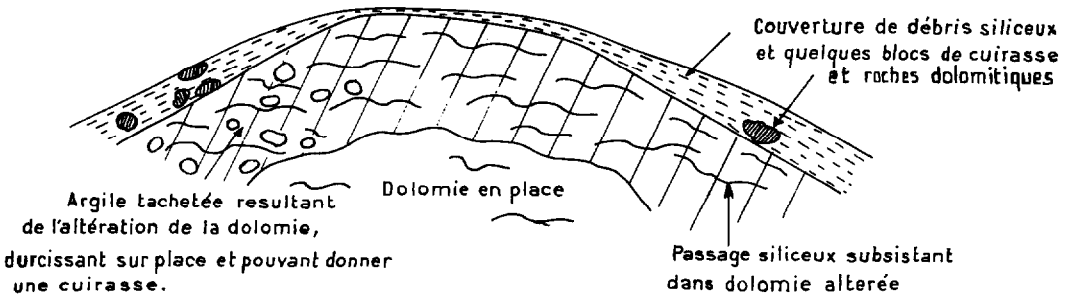


FIG. 1 Km 10 du Comilog

Stone-line mixte
Formation par résidu sur place

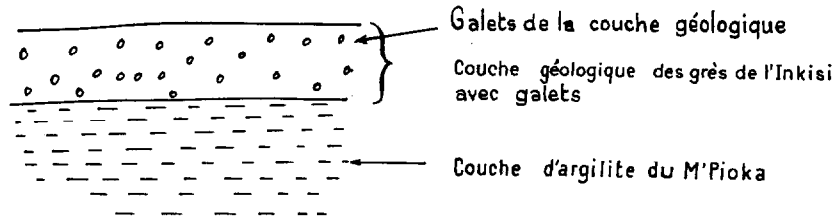


FIG. 2

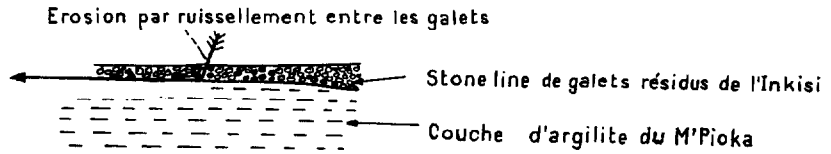


FIG. 3

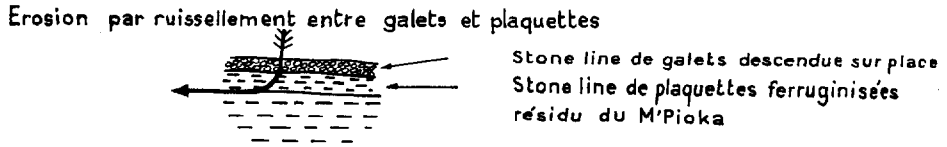


FIG. 4

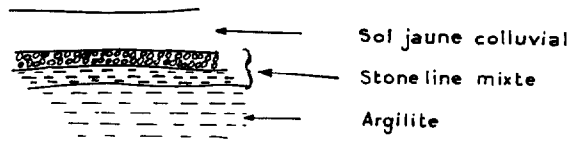


FIG. 5

FIG. 1 : Coupe du km 10 de la voie ferrée Comilog. Stone line en formation par érosion différentielle : entraînement des éléments fins, éléments grossiers résiduels (plaquettes siliciceuses, chert, blocs de cuirasse) ; pas de couverture.

FIG. 2,3,4,5 : Schéma de formation d'une stone line mixte. Ce processus par résidu sur place de deux formations géologiques différentes, est peut-être plus fréquent que le deuxième processus par apport colluvial présenté dans la planche suivante VIII.

1.3 - MORPHOLOGIE DE LA « STONE LINE »

On doit beaucoup insister sur cinq caractéristiques qui distinguent la véritable « stone line » des graviers sous berge, par exemple :

1. - Les éléments d'une « stone line » sont toujours jointifs, comme posés les uns sur les autres, sauf évidemment si leur nombre est insuffisant pour former un minimum de deux couches superposées. Bien que des éléments fins se soient insérés entre les éléments grossiers, l'imbrication est assez forte pour qu'il soit difficile de déplacer à la main l'un des éléments grossiers sans déplacer aussi le voisin.

2. - Les matériaux ne sont pas classés granulométriquement.

3. - Ils reposent presque à plat.

4. - On constate assez souvent des lits superposés de matériaux différents. Notons tout de suite que ces faits excluent, à notre avis, toutes les hypothèses de descente de cailloux dans le profil, et de concentration par les termites. Ils sont par contre favorables à l'hypothèse du pavage d'érosion sur une ancienne surface topographique.

5. - La « stone line » recoupe toujours la stratigraphie d'une roche sédimentaire ou les filons d'une roche éruptive.

Le filon ou bien se couche brutalement sous la « stone line » (planche IV, fig. 4), ou bien se courbe, et, par inclinaison progressive, se raccorde tangentiellement à la partie inférieure de la « stone line » (planche IV, fig. 1). Plusieurs explications ont été données de ce « fauchage » des filons. Il ne peut avoir lieu par glissement, car on ne constate jamais de surfaces de glissement. Par contre, le « creep », et la reptation, c'est-à-dire le déplacement lent des particules, a été possible sous la « stone line » alors qu'elle constituait la surface topographique, grâce aux racines des plantes et aux animaux fouisseurs. Ce remaniement, et surtout le tassement du sol sur lui-même (la structure de la roche n'est plus conservée dans ce cas), expliquent l'inclinaison progressive du filon, sur une épaisseur qui ne dépasse pas cependant quelques dizaines de centimètres sous la « stone line » (planche IV, fig. 1). Le niveau III comporte alors un horizon structuré dans sa partie supérieure. Il faut se méfier de filons déjà courbés dans la roche-mère.

Un cas rare, mais explicable, est celui du filon traversant la « stone line ». Dans certaines régions du sud de Madagascar au climat semi-aride (Bekily), on peut observer des lames de quartz restant en relief sur le sol, alors qu'un pavage d'érosion se dépose tout autour. Cette lame finit par s'écrouler un jour sur place et par former ces dépôts de quartz en forme de champignon sur la « stone line » elle même (planche IV, fig. 2 et 3 et planche IX fig. 2).

1.4 - ONDULATIONS DE LA « STONE LINE »

La « stone line » n'a pas une épaisseur constante, et sa limite avec le niveau III d'altération n'est pas horizontale, mais présente de multiples ondulations (planche V, fig. 1). Certains ont attribué ces ondulations :

1. - à la reptation après le dépôt de la couverture. A notre avis, la reptation ne peut intéresser une telle masse de parfois 2 à 3 m, constituée par le sol lui-même et le niveau d'éléments grossiers ;

PLANCHE IV

Fauchage des filons

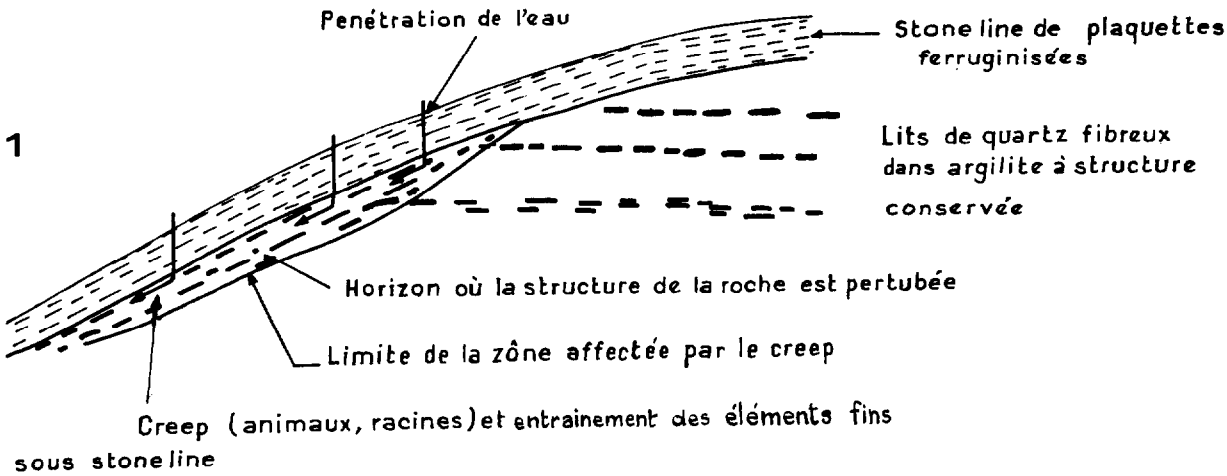


FIG. 1

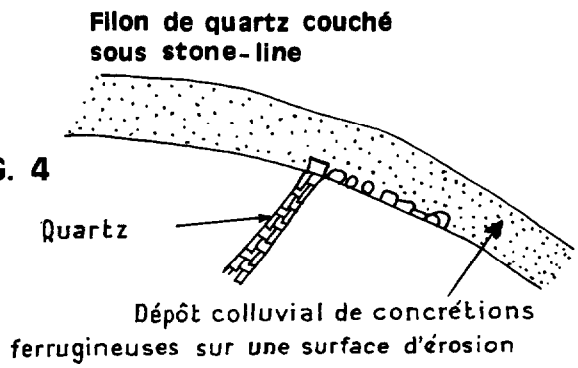


FIG. 4

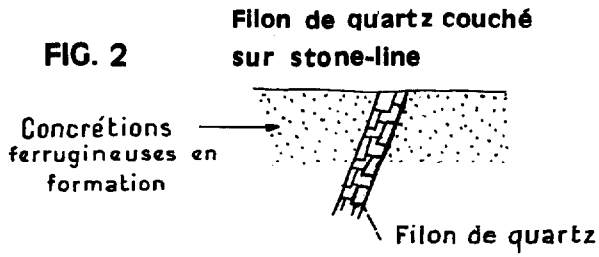


FIG. 2

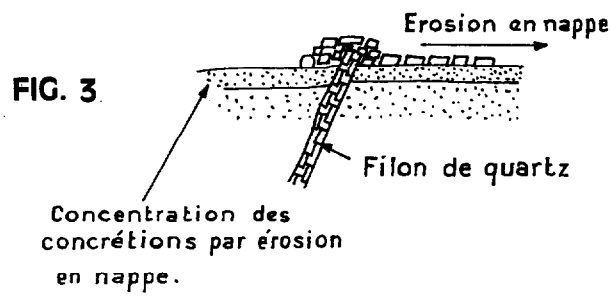


FIG. 3

FIG. 1 : Fauchage de filons de quartz dans argilite, causé non par glissement mais par creep et érosion en nappe des éléments fins sous stone line.

FIG. 2 et 3 : Cas possible mais rare du filon de quartz traversant la stone line (filon de quartz cohérent et résistant à l'érosion).

FIG. 4 : Cas plus fréquent du filon de quartz couché sous la stone line (filon se désagrégeant au fur et à mesure que la surface d'érosion descend).

Ondulations de la stone-line

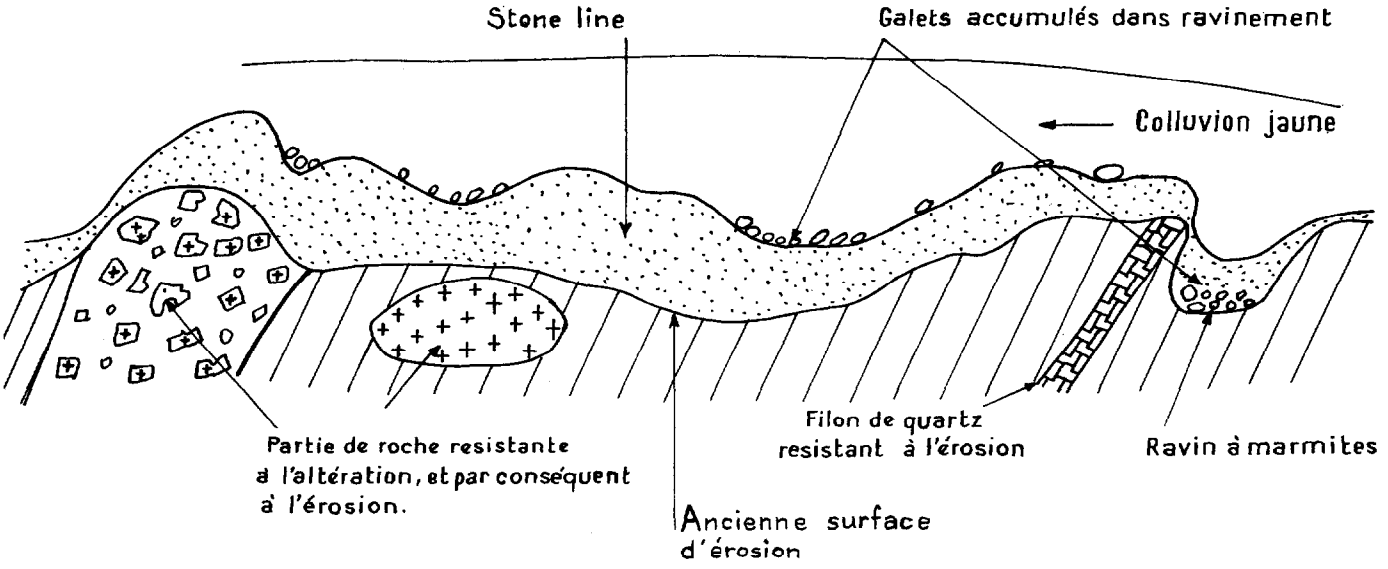


FIG. 1 : Ondulation de la stone line provoquée par des parties résistantes à l'érosion en sous-sol et accumulations d'éléments grossiers dans des ravinements souvent en marmites.

Formation de colluvion par érosion sous la stone-line expliquant la ressemblance entre colluvion et matériau sous jacent

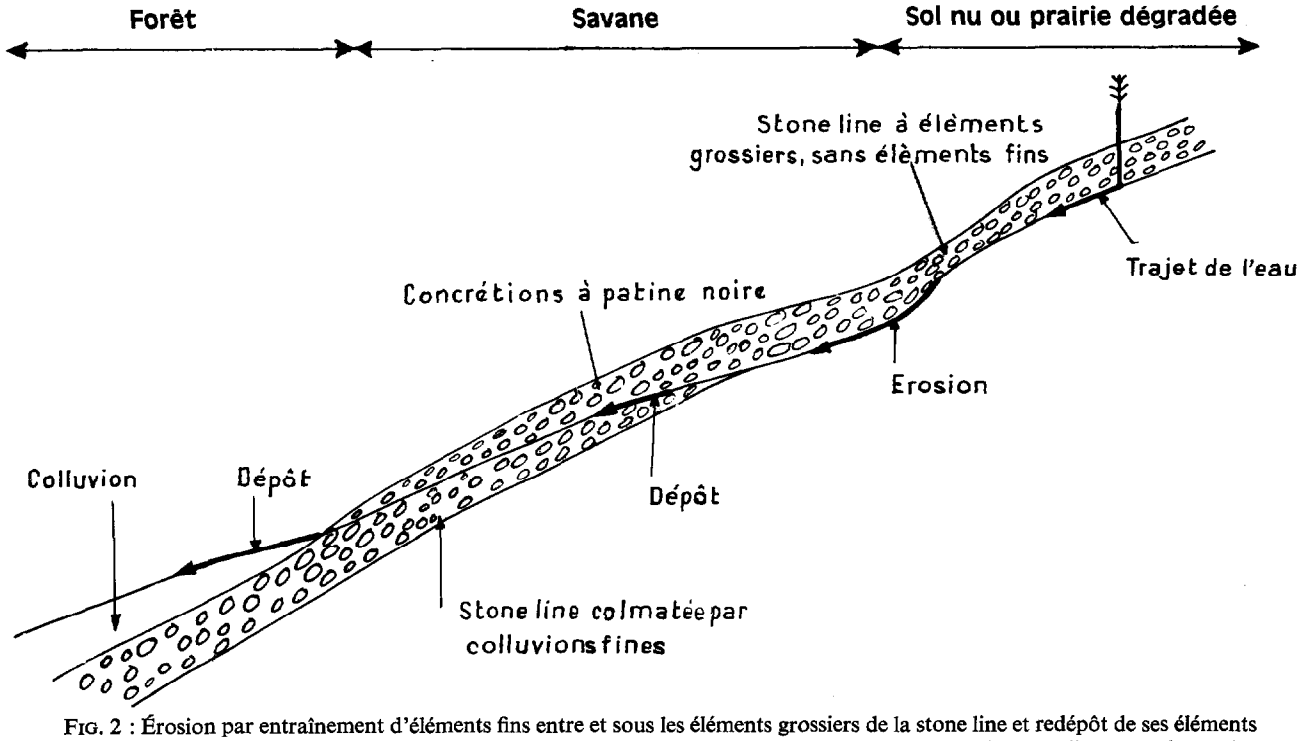


FIG. 2 : Érosion par entraînement d'éléments fins entre et sous les éléments grossiers de la stone line et redépôt de ses éléments fins plus bas, à l'intérieur et sur la stone line. Ce processus explique la descente de la stone line sur elle-même, les ondulations (érosion non régulière suivant résistance du substratum), la ressemblance entre la roche altérée et les colluvions superficielles.

La patine noire des concrétions de la stone line se produit en surface lorsque la stone line est seulement à moitié enfouie par les éléments fins et que ceux-ci les alimentent en eau qui s'évapore à la surface des concrétions.

Les types de végétation indiqués sur la figure ne sont pas obligatoires mais de nature à faciliter le processus. On constate d'ailleurs souvent la colonisation forestière à partir des fonds de vallée.

2. - aux glissements de terrain ; mais, d'une part, aucune surface de glissement n'est visible, d'autre part, il faudrait que le niveau III immédiatement sous-jacent se déforme ; or il n'en est rien, d'après la structure de la roche souvent conservée dans ce niveau ;

3. - à la dissolution de certaines roches (calcaires surtout), qui provoquerait des affaissements locaux, ou à des glissements de roches argileuses le long de microfailles. Ces processus sont possibles, mais extrêmement rares, et valables pour des roches particulières, et ne s'appliquent donc pas au cas général.

Il paraît plus judicieux de regarder le comportement d'une « stone line » décapée et exposée à l'érosion actuelle. On constate alors que l'érosion ruissclante entraîne les éléments fins sous l'amoncellement d'éléments grossiers et ce processus fait descendre sur place toute la masse d'éléments grossiers. (planche V, fig. 2). Cette érosion sous-jacente est différentielle, suivant l'hétérogénéité physique de la roche-mère, et par suite de sa zone d'altération ou niveau III : un filon de quartz, une roche plus compacte, à grains plus fins, une boule de granite mal altérée, conduisent à une inflexion vers le haut de la « stone line » (planche V, fig. 1).

Des invaginations en doigt de gant, ou en forme de marmites, de la « stone line » à l'intérieur du niveau III ont surpris les observateurs. Or, il est possible de constater que l'érosion actuelle dans le niveau III se produit très souvent en rigoles ou en petits ravins très profonds à parois subverticales et en « marmites de géant ». Le comblement de ces ravines et de ces marmites par les cailloux voisins, et souvent d'ailleurs, par des cailloux plus grossiers, explique les invaginations constatées dans la « stone line » (planche V fig. 1).

Les ondulations de la partie supérieure de la « stone line », quelquefois à pentes fortes, ont pu se produire dans ce qui n'était alors que des tas de cailloux plus ou moins contigus à la surface du sol. On s'aperçoit souvent, d'ailleurs, que l'ondulation sur une coupe correspond en réalité à une butte dans l'espace.

On peut donc estimer que ces ondulations, ces invaginations, se sont produites au moment de la formation du pavage d'érosion et ont ensuite été fossilisées par le dépôt de la couverture.

Lorsqu'il y a dissolution et disparition de matière en sous-sol, il est possible de déterminer si la formation de la « stone line » est antérieure ou postérieure à cet effondrement local. Les deux cas sont possibles (voir planche VI). Dans la figure 2, il y a dislocation de la « stone line », donc mouvement du sous-sol postérieur à sa formation ; par contre, dans la figure 3, les éléments grossiers ont comblé les dénivellations préexistantes, et dans la figure 1, la « stone line » s'est déposée sur une surface préalablement rabotée par l'érosion.

On reparlera plus loin du parallélisme plus ou moins grand de la « stone line » avec la surface topographique actuelle (ce que LAPORTE (1962) a appelé « adaptation de la stone line »), ou plutôt, comme l'a écrit MARCHESSEAU (1965), de l'adaptation de la surface topographique à la « stone line », puisque cette dernière est antérieure à la première.

1.5 - « STONE LINES » MIXTES

Ce sont des « stone lines » constituées par des lits superposés de matériaux grossiers, différents en nature, ou quelquefois simplement en granulométrie (planche VII A, fig. 2 et 3). Elles peuvent s'expliquer, soit par l'érosion successive de plusieurs couches géologiques ou des sols formés à partir de ces couches comme roche-mères (planche III, fig. 2, 3, 4, 5), soit par colluvionnement ou éboulis en deux phase (planche VII B, fig. 1, 2, 3, 4) dans le cas d'une érosion très brutale. Ces « stone lines » mixtes constituent plutôt des exceptions. Il faut donc des circonstances particulières pour les créer.

1.6 - « STONE LINES » DOUBLES

Les chances de trouver deux « stone lines » dans un même profil sont encore plus faibles pour les raisons suivantes :

Le premier cycle érosif constitue un pavage. Si l'érosion devient plus forte, ce pavage descend sur lui-même et s'épaissit vers le bas. Si, au contraire, l'érosion diminue d'intensité, ce sont des éléments fins qui se déposent en couverture colluviale, et une reprise d'érosion a peu de chance de déposer des éléments grossiers sur la couverture fine sans la décaper au préalable. Ce processus est cependant possible si la couverture fine est fixée par une végétaion herbacée, et si un orage violent et court entraîne des éléments grossiers à partir d'un affleurement supérieur assez proche. Il faut donc un relief très accidenté, des positions particulières en bas de pente, des colluvions au pied d'une falaise par exemple. Dans le cas général, d'ailleurs, une nouvelle érosion entraîne les éléments fins et la deuxième « stone line » résiduelle vient reposer sur la « stone line principale », qu'elle épaissit cette fois vers le haut, formant une « stone line » mixte (voir plus haut).

Remarquons cependant que l'érosion, bien que présentant des phases de paroxysme, est continue depuis les temps géologiques. Elle a donc toujours tendance à faire descendre la « stone line » supérieure, si elle s'est formée, jusqu'à la « stone line » inférieure située juste au-dessus de la zone d'altération de la roche. Celle-ci freine et arrête une érosion plus profonde avant que la roche soit suffisamment pourrie et réduite en éléments fins pour se laisser entraîner à son tour. Ce processus explique que l'on ne trouve en général qu'une « stone line », mais il est aussi de nature à décourager la datation des « stone lines », puisque des cycles érosifs successifs peuvent se succéder, donnant toujours lieu à la même nappe d'éléments grossiers, reprise plusieurs fois et descendant toujours sur elle-même. (Voir plus loin : datation de la « stone line » et de la couverture fine).

1.7 - AUTRES VARIANTES DE LA « STONE LINE »

1.7.1. Le cas général, décrit page 71 et planche I, n'exclut pas cependant la possibilité de trouver la « stone line » entre les horizons A et B d'un profil pédologique, par exemple dans certains sols ferrallitiques à « horizons jaunes sur horizons rouges » des savokas de Madagascar. Ces « stone lines » sont alors plus récentes (résidus de roches plus ou moins protégés par une pellicule de fer) et moins épaisses (quelquefois simplement marquées par des cailloux alignés à la limite entre l'horizon jaune et l'horizon rouge). L'érosion n'a pas réussi à entamer l'horizon B du sol, donc n'a pas atteint l'horizon C ou niveau III de la zone d'altération de la roche. Cette érosion, plus faible, a créé un pavage d'érosion de morceaux de roches pourries beaucoup moins épais. Il est probable que le fer s'est déposé sur ces roches pourries au moment de la mise en place de la couverture jaune superficielle, dans laquelle le fer est rendu mobile par des complexes humiques et une certaine hydromorphie.

Tout ce qui vient d'être dit à propos des « stone lines » épaisses reposant sur la zone d'altération de la roche est valable pour ces petites « stone lines » qui se trouvent entre deux horizons pédologiques (ou supposés tels puisqu'il y a eu remaniements). Quelques différences se manifestent cependant : il est alors rare d'observer des « stone lines » mixtes, des éléments résiduels d'autres sols ou d'autres formations géologiques ; les ondulations sont faibles ; il y a peu, ou pas, d'invaginations ; les sols ont eux-mêmes une faible épaisseur. Tout semble indiquer que les mêmes processus se sont déroulés à échelle réduite

PLANCHE VI

Age de la stone-line
par rapport aux glissements et effondrements de terrain

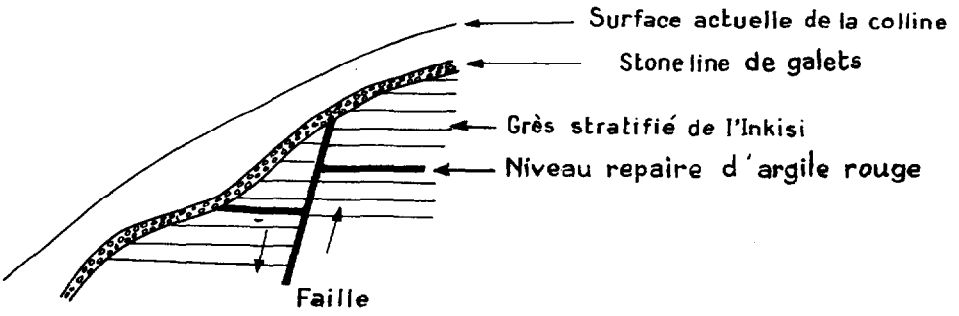


FIG. 1 **Coupe de la région de Nkala (Région de Boko)**

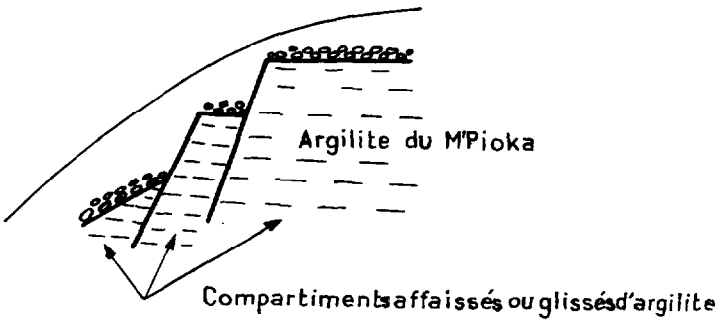


FIG. 2 **Coupe de la région de Mpasa (Région de Boko)**

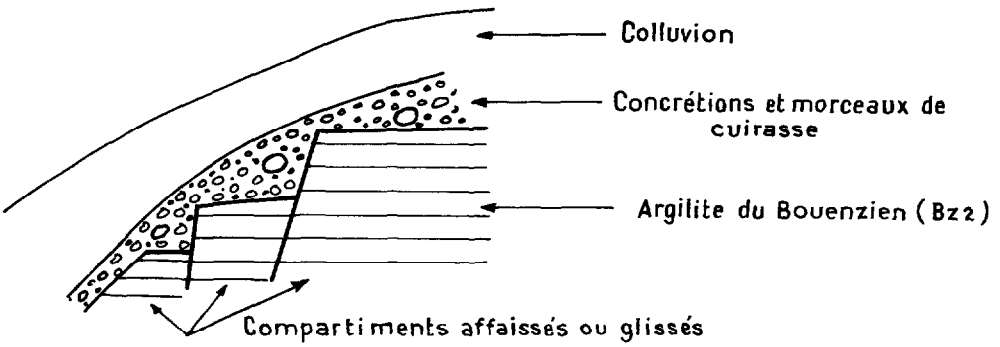


FIG. 3 **Coupe de la route du Comilog**

Ces différentes coupes montrent des stone lines reposant sur des roche-mères ayant subi des déplacements.

Fig. 1 et 3 semblent montrer des stone lines formées postérieurement aux mouvements de la roche-mère ; la Fig. 2, antérieurement. La couverture couvre indifféremment tous les reliefs antérieurs.

PLANCHE VII A

Stone-lines mixtes
Formation par reprise d'une ancienne stone-line

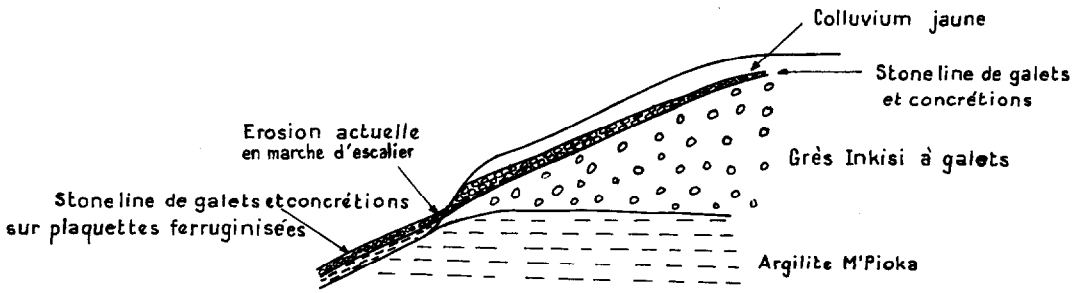


FIG. 1 — **Coupe le long d'une pente près de Nkala (Région de Boko)**

Exemples de stone-lines mixtes

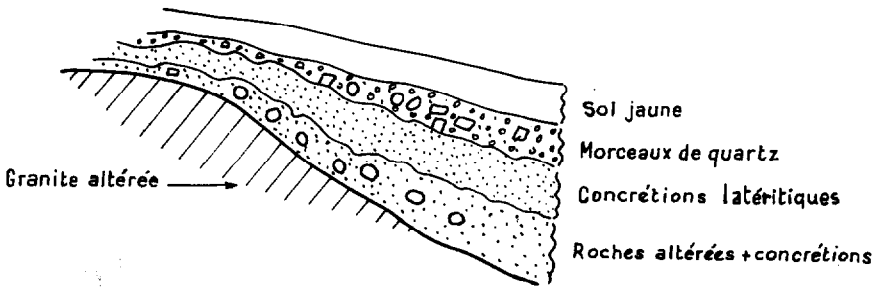


FIG. 2 — **Profil du Km 182,7 de la voie ferrée Comilog**

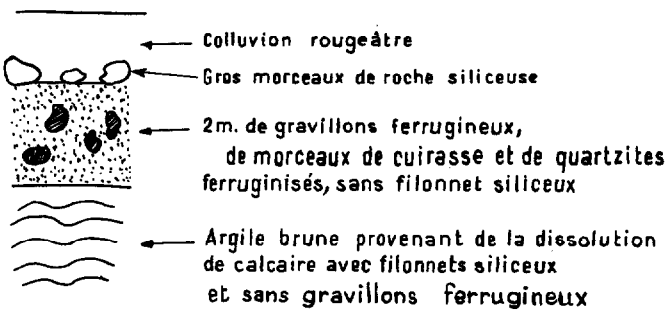


FIG. 3 — **Profil entre Comba et Mindouli (Coupe voie ferrée)**

FIG. 1 : Autre mode de formation d'une stone line mixte se produisant au contact de deux formations géologiques et par reprise d'une ancienne stone line.

FIG. 2 et 3 : Exemples de stone lines mixtes formées soit par apport colluvial, soit plutôt par résidu sur place de formations géologiques et pédologiques supérieures enlevées par érosion.

PLANCHE VII B

Stone-line mixte
Formation par apport colluvial

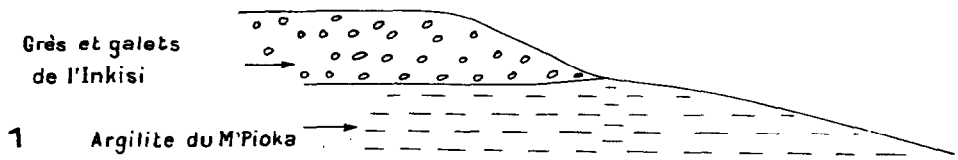


FIG. 1

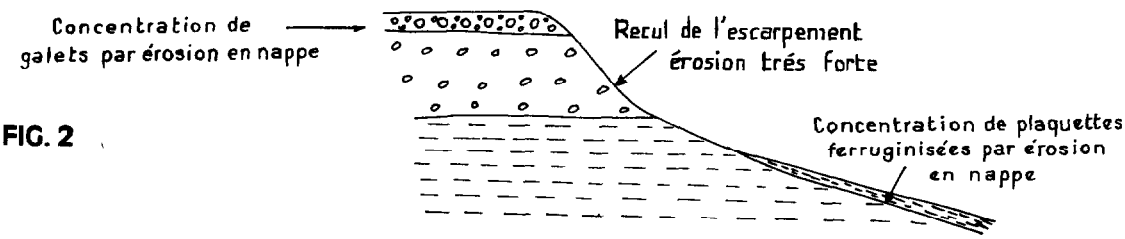


FIG. 2

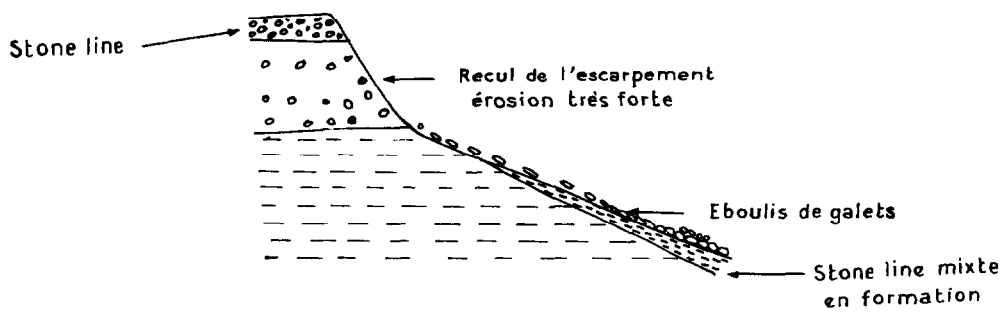


FIG. 3

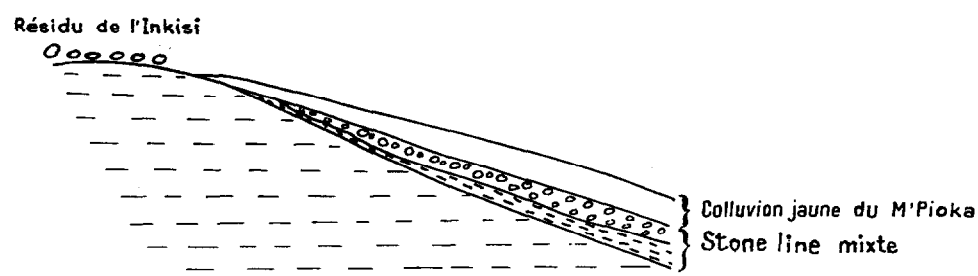


FIG. 4

Ce mode de formation de la stone-line mixte ne peut se produire qu'en bordure d'une falaise, car il nécessite une forte pente pour entraîner les éléments grossiers soit par apport torrentiel, soit par éboulis.

(à l'échelle pédologique) et récemment, puisque le cycle érosif majeur (périodique à l'échelle géologique) n'a pas eu le temps de se produire depuis le début de la pédogenèse, c'est-à-dire depuis le début de l'altération de la roche-mère (peut-être d'ailleurs décapée par une crise érosive antérieure).

1.7.2. Citons aussi certaines concentrations, plus ou moins denses, de graviers, cailloux, concrétions, morceaux de quartz, dans l'horizon B de certains sols, la concentration n'atteignant pas le stade où tous les éléments grossiers sont jointifs. De tels horizons caillouteux ont été décrits en particulier par NYE (1955) et LÉVÈQUE (1967). Nous ne les appellerons pas « stone line ». Ils résulteraient de l'action conjointe du creep, avec transport faible de 50 à 150 m le long de la pente, et surtout de l'action des termites. Dans ce cas, il n'y a pas de pavage d'érosion, car jamais l'érosion n'a décapé ces sols depuis leur formation.

1.7.3. Enfin, bien que le profil décrit page 71 et reproduit planche I soit le plus fréquent, un profil pédologique vrai peut se surimposer au schéma général : roche altérée, « stone line », nappe de couverture. En particulier, des horizons tachetés plus ou moins hydromorphes peuvent apparaître dans les niveaux I ou III, des concrétions se former en I ou III, des horizons de couleur uniforme et structurés (altération très poussée de la roche in situ avec tassement, ou remaniement par faune et flore) peuvent aussi se rencontrer immédiatement en dessous de la « stone line ». Dans ce dernier cas, les filons de quartz sont « fauchés » au niveau de cet horizon. L'évolution pédologique du profil est en général conditionnée par la discontinuité créée par la « stone line », provoquant souvent un changement dans les propriétés physiques du sol, notamment dans la perméabilité ; mais d'autres processus tels que l'altération en profondeur de la roche-mère, ou la formation d'horizon organique en surface, et même l'éluviation des horizons A, ne sont pas affectés par la discontinuité.

Cependant, un changement de couleur se présente le plus souvent au niveau de la « stone line ». Il semble que le remaniement par l'eau ait provoqué en général un jaunissement du matériau au cours du dépôt de la couverture, donc avant l'évolution pédologique ultérieure. Toute une étude est à faire pour établir l'état d'évolution du profil, son degré d'altération, etc..., avant et après l'accident « stone line » qui a perturbé la vie du profil. Il est d'ailleurs probable que les conclusions seraient différentes d'un profil à un autre, ou plutôt d'une région physiographique à une autre.

2 - ÉTUDE DE LA NAPPE DE RECOUVREMENT

On peut parler de nappe de recouvrement en raison de l'homogénéité et de l'épaisseur assez constante du niveau I qui recouvre la « stone line ». Il faut cependant noter que l'homogénéité n'est pas parfaite, puisqu'elle est affectée par une différenciation morphologique en horizons pédologiques et que l'épaisseur constante est une notion toute relative, car elle varie de 0 à 5-6 m.

2.1 - NATURE DE LA NAPPE DE RECOUVREMENT

2.1.1. L'étude granulométrique des nappes de recouvrement devrait permettre d'en déterminer l'origine. LAPORTE (1962) a reconnu la ressemblance certaine, mais non l'identité, entre les niveaux I et III. Sur argilite, la nappe de recouvrement sera argileuse, sur grès, sableuse, etc... Il en avait conclu à la formation d'un sol in situ, en admettant cependant une homogénéisation sur place du niveau supérieur. On a vu

plus haut que si, granulométriquement, l'équivalence était approchée entre les deux niveaux, par contre, la nature des argiles et des sables était différente (planche II, fig. 1).

Nous avons fait pour notre part beaucoup d'analyses mécaniques qui montrent évidemment une certaine parenté entre la couverture et le niveau d'altération de la roche en place, mais presque jamais une identité ; souvent, la quantité d'argile est plus grande en I qu'en III ; par contre, la quantité de limon est supérieure en III, ce qui pourrait s'expliquer aisément par une altération plus intense des matériaux en surface. (voir analyses des profils GBAM 1 et 2 dans le tableau III et planches VIII et IX), mais aussi par un recouvrement d'éléments fins.

TABLEAU III

N° Echantillon GBAM	11	12	13	21	22
Analyse physique					
Refus 2 mm %	—	4,5	2,6	3,3	4,4
Analyse mécanique					
Argile %	68,0	66,8	50,4	64,4	49,9
Limon fin %	14,4	16,5	31,8	19,8	33,3
Limon grossier %	3,8	3,6	5,9	3,7	5,3
Sable fin %	5,6	5,7	4,6	2,6	3,2
Sable grossier %	4,0	4,2	4,8	3,8	5,1
Humidité %	4,2	3,5	2,9	6,1	3,6
Analyse chimique					
Bases échangeables M.E. pour 100 g de sol					
Ca	0,02	0,02	0,01	0,02	—
Mg	0,01	—	0,03	0,02	—
K	0,01	—	—	—	—
Na	—	—	—	—	—
T	5,2	5,8	8,6	10,6	10,0
P_2O_5 total ‰	0,85	0,68	0,59	0,35	0,68
Ca (2) mé	0,85	—	0,20	0,40	1,55
Mg	0,18	0,33	0,31	0,35	0,26
K	4,43	4,58	5,84	5,84	6,35
Na	0,35	0,35	0,22	0,35	0,52
	5,36	—	6,57	6,94	8,68
Fe_2O_3	17,9	15,4	15,7	16,2	14,5

2.1.2. La comparaison des courbes granulométriques des sables entre 0,02 et 2 mm, pour les horizons au-dessus et au-dessous de la « stone line » (planche X), fait ressortir que les sables sont tantôt identiques, (ex : profil ST 3), tantôt assez nettement différents, (ex : profils ST5, ST11). Tantôt la granulométrie des sables du niveau II, donc des sables trouvés entre les éléments grossiers de la « stone line », ressemble à celle du niveau I (ex : profil ST5), tantôt à celle du niveau III (ex : profil ST11), tantôt à aucun des deux (ex : profil ST12). Malheureusement, la néoformation de concrétions dans les profils pédologiques trouble les résultats, ou plutôt l'interprétation, des analyses granulométriques, et, souvent, les analyses chimiques : en particulier, teneur en bases totales et teneur en fer total, contredisent les résultats de l'analyse granulométrique.

Coupes près de la gare "les Bandas"
Région de Dolisie

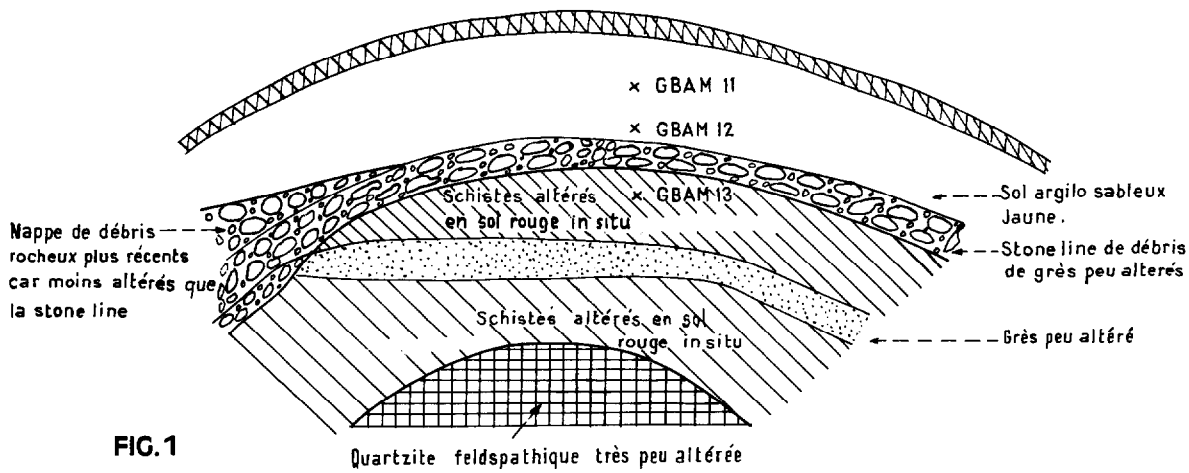


FIG. 1

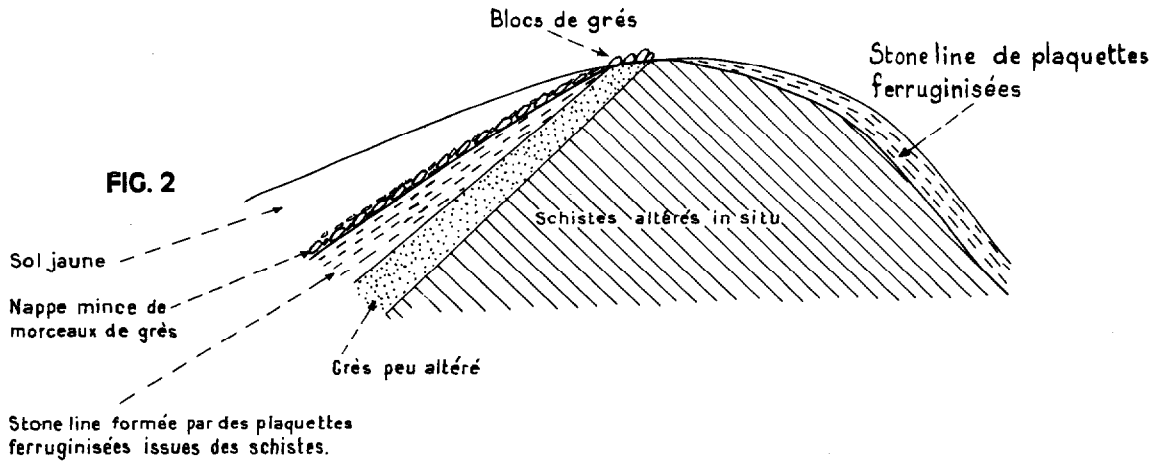


FIG. 2

FIG. 1 : Coupe le long de la voie ferrée Brazzaville-Pointe-Noire à la sortie de la gare de « Les Bandas ».
La roche-mère est constituée par des quartzites, des grès, des schistes stratifiés. Grès et quartzites sont relativement peu altérés, par contre les schistes ont donné par altération un sol rouge in situ (schistosité conservée) en dessous de la stone line. La stone line est constituée principalement de morceaux de grès assez friables. Par contre, sur la gauche de la coupe, des morceaux de grès très peu altérés venant du haut de la colline (où ils affleurent encore) sont venus se superposer à l'ancienne stone line. La couverture argilo-sableuse jaune est constituée d'éléments fins argileux provenant de l'altération des schistes. La stone line a sans doute été reprise au moins une fois par l'érosion et elle est d'origine colluviale car les éléments grossiers eux-mêmes ont été déplacés.

FIG. 2 : Coupe le long de la voie ferrée Brazzaville-Pointe-Noire à la sortie de la gare « Les Bandas ».
Cette coupe montre des déplacements de faible envergure sur une coupe dissymétrique. D'un côté de la colline, plaquettes ferruginisées provenant de schistes, de l'autre, morceaux de grès provenant des éboulis du sommet. Couverture jaune que d'un côté.
Par suite de la faille (?) délimitant le massif du Mayombe, côté Dolisie, cette région est en pleine reprise d'érosion et on observe des remaniements actuels d'anciennes stone lines.

PLANCHE IX

Coupes le long de la voie ferrée près du lieu dit : "Vélodrome"
Région de Dolisie

FIG. 1

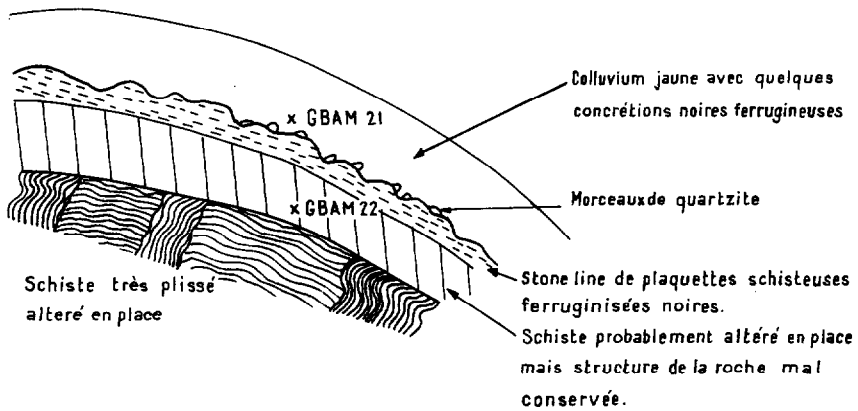


FIG. 2

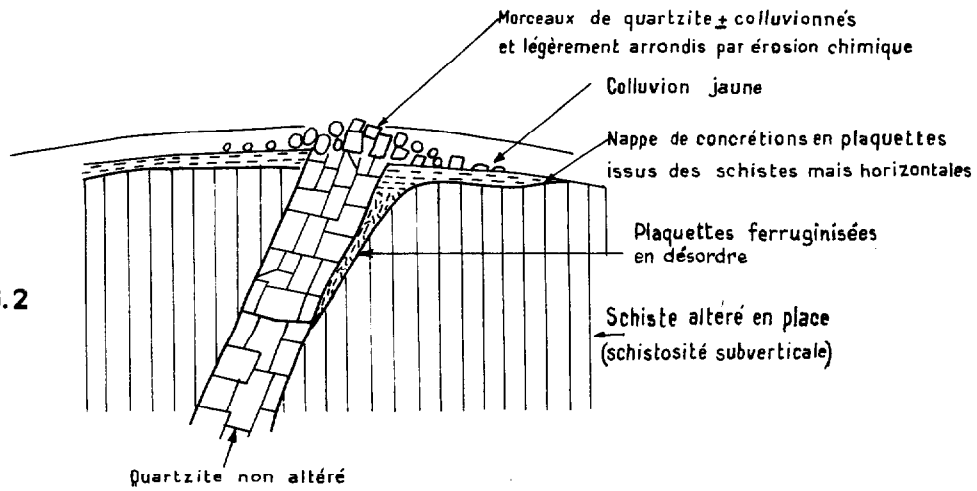
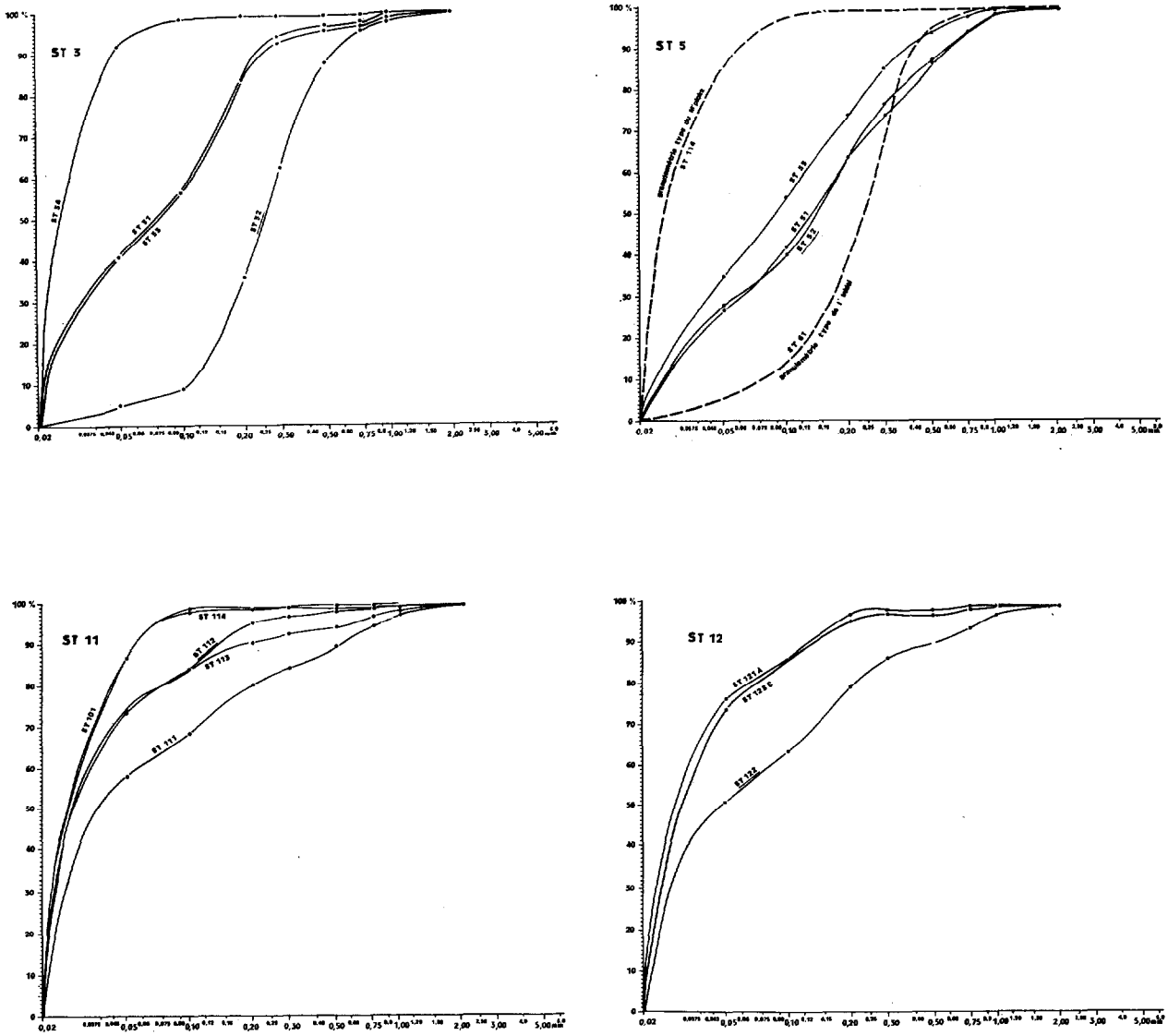


FIG. 1 : Coupe dans la boucle du chemin de fer entre Dolisie et les Bandas. Des morceaux de quartzite provenant d'un filon non visible gisent sur la stone line de plaquettes ferruginisées provenant des schistes (sans quartz à cet endroit). Processus sans doute analogue à figure 2 mais le filon n'est pas visible.

FIG. 2 : Coupe non loin de la boucle du chemin de fer entre Dolisie et les Bandas. Les morceaux de quartzite, résistants à l'altération et à l'érosion, forment un chapeau sur une stone line de plaquettes ferruginisées posées à plat et provenant des schistes. En profondeur on peut voir des plaquettes en désordre dans une ancienne fente de retrait le long du banc de quartzite. Les blocs de quartzite jalonnent la crête d'une croupe.

PLANCHE X



Courbes granulométriques des sables. L'échantillon souligné correspond à la terre fine prélevée au milieu des éléments grossiers de la stone line.

2.1.3. L'étude de la morphoscopie des sables ne permet pas non plus des conclusions formelles. Les déplacements ont été relativement faibles et les grains de quartz, souvent emballés dans un matériau plus fin, peut-être même dans des agrégats terreux, n'ont pas subi d'usure. Par contre, ils sont légèrement émoussés et picotés, ce qui peut provenir d'une attaque chimique dans l'horizon superficiel le plus altéré, et non d'un éventuel transport éolien. Des quartz éoliens typiques peuvent se rencontrer dans le niveau I de certains profils, mais ils proviennent du résidu d'un étage géologique supérieur décapé d'origine éolienne (ex : les grès polymorphes des plateaux Batéké, au Congo), et reposer maintenant sur un niveau III à quartz anguleux (grès de l'Inkisi, au Congo). Il ne faut pas conclure dans ce cas que la couverture a été mise en place par le vent. De même, des quartz éolisés ont été trouvés dans des blocs de grès ferrugineux d'une « stone line » qui reposait elle-même sur des grès altérés de l'Inkisi, à quartz non éoliens (photo n° 4). La couverture, provenant cette fois de l'Inkisi, possède des quartz anguleux. Les grès ferrugineux doivent provenir d'un alios formé à la base des sables Batéké, sables qui recouvraient autrefois la région avant leur décapage, la formation du pavage d'érosion résiduel et enfin le dépôt de la couverture.

Une autre coupe, sur la route de Mayoko (Congo) (planche XI, fig. 2), montre au contraire une nappe d'argile jaune à grains ronds-mats provenant du Bouenzien B_{z1}, une « stone line » à concrétions ferrugineuses contenant aussi des grains ronds-mats, le tout reposant sur une altération de granite à grains anguleux. C'est grâce à des coupes analogues que l'on pense que les colluvions peuvent provenir d'une distance d'1 km environ, distance d'affleurement du Bouenzien.

2.1.4. L'étude des minéraux lourds faite par le B.R.G.M. (MARCHESSEAU 1965, VINCENT 1965) n'apporte pas non plus de résultats définitifs. Le nombre de ces minéraux ne semble pas plus grand dans le niveau I que dans le niveau III, mais la variété est plus grande, ce qui montre des apports extérieurs, ou tout au moins un étalement à partir d'une source de minéraux étrangers à la roche sous-jacente. Leur degré d'usure ne prouve rien, car même les zircons paraissent arrondis chimiquement.

Le schéma de la figure 3, planche XII, montre un étalement des grenats par le colluvionnement*. Cette coupe prouve aussi un déplacement faible du matériel colluvial. Ce dernier ne dépasse pas l'échelle de la colline, sauf s'il a appartenu autrefois à un pédiment intéressant une région plus vaste.

2.2 - MISE EN PLACE DE LA NAPPE DE RECOUVREMENT

Elle pose de nombreux problèmes, qui doivent avoir plusieurs solutions.

Il semble que les processus érosifs sur une même colline soient multiples, aussi bien dans l'espace que dans le temps. Ils sont souvent aussi simultanés.

L'étude granulométrique et morphoscopique des sables (voir paragraphe précédent) semble prouver un faible déplacement des matériaux. Il faut donc considérer la mise en place de la couverture au niveau de la colline, de la montagne, à l'extrême limite du bassin versant, qui pouvait d'ailleurs différer en forme et en emplacement du bassin actuel.

2.2.1. Vent. La mise en place par le vent, souvent envisagée, doit être valable pour certaines régions au nord du Nigéria ou de la Côte-d'Ivoire (RIOU 1965), donc en bordure des régions arides, mais il ne semble pas qu'au cours du Quaternaire (date probable de mise en place de ces couvertures), il y ait eu de grandes périodes sèches dans les régions tropicales et équatoriales. Comme nous l'avons vu, les quartz éolisés sont des résidus de périodes géologiques antérieures.

2.2.2. Termites. Contrairement à certains auteurs, nous n'attacherons pas une grande importance à l'action des termites. Sans nier leur action homogénéisante par remontée des horizons profonds, on peut penser qu'ils préparent les sols à une érosion pluviale et à un transport par gravité dont le résultat final

* d'après analyses minéralogiques de A. NOVIKOFF

PLANCHE XI

Nappe de recouvrement

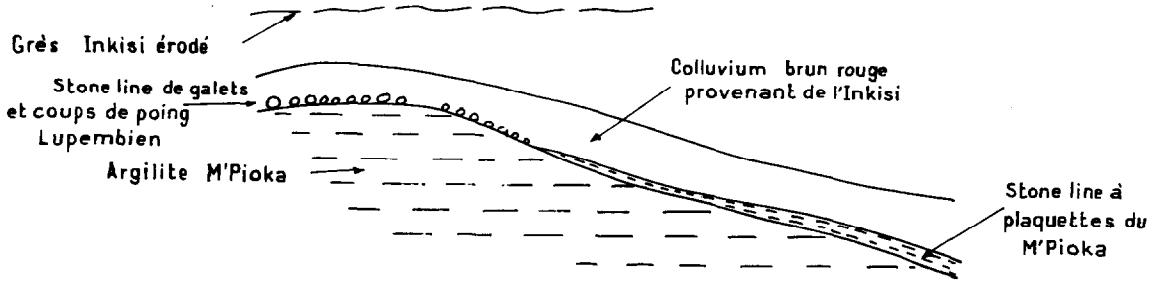


FIG. 1 **Coupe route de Kimbanda à Boko (Congo)**

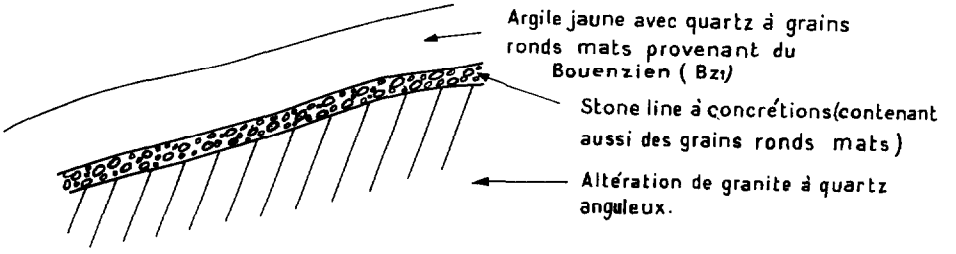


FIG. 2 **Coupe route de Mayoko (selon Novikoff)**

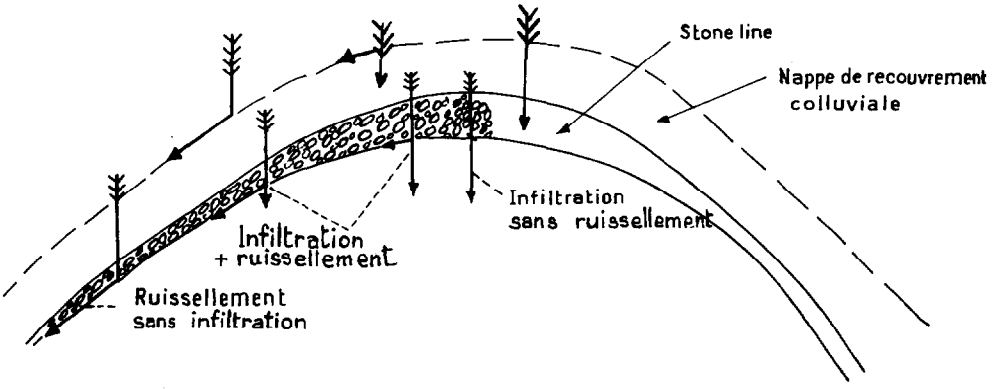


FIG. 3 **Forme théorique en demi-orange et profil d'équilibre topographie - ruissellement**

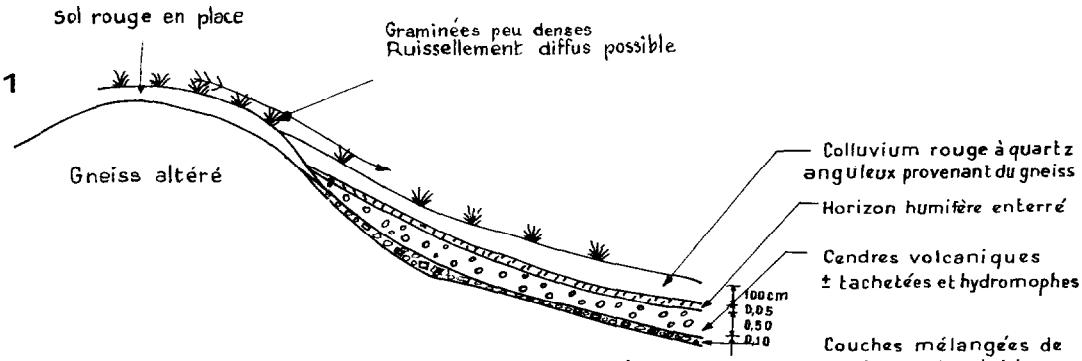
FIG. 1 et 2 : Exemple de nappe de recouvrement ne provenant pas de la roche-mère sous-jacente.

FIG. 3 : Proportion d'infiltration et de ruissellement expliquant la topographie en demi-orange de la surface d'érosion sous la stone line et de la surface d'érosion actuelle sur la nappe de recouvrement.

PLANCHE XII

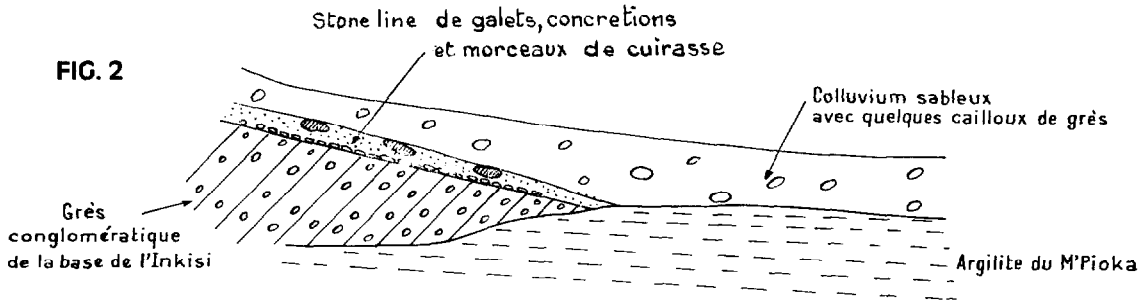
Nappe de recouvrement
Formation par apport colluvial

FIG. 1



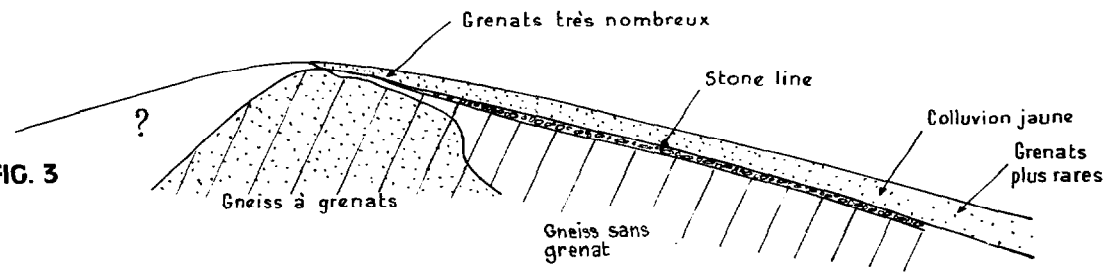
Colluvionnement relativement récent et même peut-être actuel à Madagascar (région de l'Ankaratra)

FIG. 2



Coupe contact Inkisi-M'pioka près de Mankoussou S/Préfecture de Boko (Congo)

FIG. 3



Km 250,5 de la route de Mayoko (selon Novikoff)

FIG. 1 : Colluvionnement récent ou actuel de sol rouge sur un ancien dépôt de cendres volcaniques (coupe sur la route Imérimandroso-Behenjy, Madagascar).

FIG. 2 : Colluvium contenant des morceaux de grès sur une argilite sans éléments grossiers grèseux.

FIG. 3 : La répartition des grenats semble prouver l'origine colluviale de la formation de recouvrement.

est beaucoup plus important. L'action des termites seuls pour expliquer la mise en place de la couverture semble contredite par les faits suivants (observations de MARCHESSEAU, 1965, et nos propres observations) :

1. - Il existe dans la région de Betroka (sud de Madagascar) des régions à nombreuses termitières sans nappe de recouvrement, et inversement des nappes de recouvrement sans termitière (hauts plateaux de Madagascar) ;

2. - On trouve souvent des nids de termites fossilisés sous des colluvions récentes. Ils ont donc résisté à l'érosion et n'ont pas fourni de matériau à la couverture colluviale ;

3. - Certaines nappes de recouvrement reposent directement sur la roche-mère ;

4. - La plupart des insectes et animaux fouisseurs et les racines elles-mêmes, remuent toujours la même quantité de terre, car les anciennes galeries, les anciens emplacements de racines sont comblés, un jour ou l'autre, par de la terre venue de la surface (terre humifère dans certaines galeries d'insectes) ;

5. - Les termites ne permettent pas d'expliquer des épaisseurs de 5-6 m de couverture sans un colluvionnement ultérieur. Les plus fortes estimations des apports par les termites s'élèvent à 1 mm. d'épaisseur en 5 ans (J. de PLOEY), 1 mm. en 20 ans (J. de HEINZELEIN). Elles sont encore inférieures à l'estimation de l'érosion moyenne d'un bassin versant calculée d'après le débit solide des rivières.

6. - Très souvent, pour ne pas dire toujours au Congo, la « stone line » repose directement sur le niveau III, où la structure de la roche a été conservée. Dans ce cas, on ne trouve pas trace de nid de termites dans ce niveau, donc pas de départ d'éléments fins pour constituer le recouvrement de surface. D'autre part, si ces vides avaient été comblés par des petits affaissements locaux, la structure de la roche n'aurait pas été conservée dans la zone d'altération.

2.2.3. Descente des éléments grossiers dont le profil. LAPORTE (1962), en particulier, a interprété la formation in situ des « stone lines » par descente des éléments grossiers à l'intérieur du profil et concentration à un niveau d'arrêt. Cette hypothèse semble peu probable car :

1. - il n'y a pas classement des matériaux selon leur densité, comme il est obligatoire dans un milieu semi-fiuide ;

2. - ce milieu ne pourrait pas se maintenir sur les pentes ;

3. - les vraies coulées boueuses, par suite des mouvements du milieu visqueux, maintiennent au contraire en suspension tous les éléments grossiers ;

4. - si la descente des cailloux se fait en milieu solide par soutirage d'éléments fins sous les pierres (par les termites par exemple), on doit aboutir à une concentration de cailloux dans un horizon, mais non à une ligne nette de cailloux jointifs, ce qui indiquerait un travail bien improbable des termites à une profondeur parfaitement constante ;

5. - ce processus semble incompatible avec le fait que l'on trouve les industries lithiques uniquement à la partie supérieure de la « stone line » et dispersées dans l'ordre chronologique entre la surface du sol et la « stone line ».

2.2.4 - Colluvionnement. Par contre, le phénomène de colluvionnement n'est pas discutable. Plutôt qu'à une vraie « reptation » des éléments solides par gravité, on peut penser que le processus est le suivant : apport successif par l'eau de ruissellement de petites nappes d'éléments fins à sableux (d'ailleurs souvent associés en agrégats terreux), ces apports étant freinés par la végétation, ou accélérés par le manque de végétation. C'est un ruissellement en nappes, continu dans le temps, pouvant se produire de préférence sous prairie dégradée, mais aussi sous forêt dense (ROUGERIE, 1960), et, ce qui est important, sous « stone line » (formation du pavage d'érosion).

Si l'on suppose la « stone line » mise à nu, ce type d'érosion entraîne les éléments fins entre le réseau d'éléments grossiers, donc à l'intérieur et sous la « stone line » (planche V) ; mais, un peu plus bas sur la

pente, la nappe ruisselante, freinée par la végétation ou un changement de pente, dépose au contraire les éléments (en suspension ou plus ou moins roulés) d'abord à l'intérieur de la « stone line », puis au-dessus de celle-ci. De proche en proche, à partir du bas de la colline, il se forme une couverture continue assez homogène. Le dépôt des éléments fins se faisant dans la première végétation dense rencontrée, ces derniers ne peuvent aller plus loin, donc n'épaississent pas les colluvions de bas de pente. Il est alors possible qu'un optimum d'épaisseur de la couverture soit atteint là où elle est suffisamment grande pour la croissance de la forêt. La forêt empêche alors toute nouvelle érosion accélérée, d'où une certaine constance de l'épaisseur de la couverture. Une période plus sèche remplace la forêt par une prairie dégradée et le cycle recommence, la forêt comme il est souvent constaté, recolonisant la colline en partant de la vallée plus humide.

L'épaisseur constante, souvent invoquée par les partisans des termites, est d'ailleurs une notion toute relative puisqu'elle varie de 0 à 5 m, et qu'en particulier la « stone line » est souvent recoupée vers le bas de la colline par la surface topographique résultant d'une incision récente de la vallée.

Une autre hypothèse, pouvant expliquer l'épaisseur relativement constante de la couverture, ou, ce qui revient au même, l'adaptation de la surface topographique actuelle à la dernière surface d'érosion matérialisée par la « stone line », est la suivante : la forme en « demi-orange » du relief en régions tropicales peut s'expliquer par un équilibre entre l'eau qui pénètre dans le sol et celle qui ruisselle (planche XI, fig. 3). L'érosion est plus faible au sommet par suite de l'infiltration d'une partie des pluies, plus forte en bas de pente grâce à l'effet cumulatif des eaux de ruissellement. Lorsque la couverture s'est déposée, par suite de l'établissement d'une végétation plus dense par exemple, l'érosion est restée la même, puisque le ruissellement que nous supposons presqu'identique opère pratiquement sur les mêmes matériaux (ressemblance granulométrique des niveaux I et III). Si le freinage de l'érosion par les éléments grossiers de la « stone line » et par les racines des arbres est équivalent, on obtient une forme de relief parallèle à la première, à l'épaisseur de la couverture près.

Notons en passant que le soutirage chimique en bas de pente, souvent invoqué pour expliquer le relief des régions équatoriales, ne nous semble qu'une hypothèse. Deux faits sont en contradiction avec cette hypothèse :

1. - Il est facile de constater que l'altération in situ de granite, de gneiss, de micaschiste, etc., ne donne lieu à aucun changement de la structure de la roche directement sous la « stone line ». L'horizon d'altération de la roche perd des éléments solubles, devient plus poreux mais ne change pas de volume et ne subit aucun affaissement.

2. - La « stone line » recoupe presque toujours le litage de la roche éruptive ou la stratification de la roche sédimentaire. Le soutirage chimique ne peut donc se produire que dans la « stone line » elle-même ou au-dessus. La lenteur de l'érosion chimique a d'ailleurs été confirmée par l'étude du couple érosion-sédimentation en Côte-d'Ivoire. Deux exceptions cependant sont à noter : les calcaires et les argiles géologiques très fluentes, dans lesquelles on constate des tassements sur place et des microfailles (ex. argilite du MPioka, planche VI). Nous n'admettons donc pas le processus de soutirage comme élément d'évolution des versants en régions équatoriales sur la plupart des roches. De même, le lessivage oblique semble nul ou peu important (voir expérience de NYE, 1955). L'évolution du relief semble donc principalement conditionnée par l'érosion superficielle actuelle ou plutôt passée.

Le fait que la « stone line » suit assez bien la topographie actuelle prouve simplement que le relief général de la région a peu changé depuis la formation de la « stone line », et l'épandage de la couverture, donc depuis le dernier cycle d'érosion sévère. Lorsqu'il y a reprise d'érosion actuelle (région de Mouyondzi et de Boko au Congo) la « stone line » est, soit mise en surface, soit recoupée par les flancs de colline.

Il faut cependant expliquer aussi la présence d'une couverture importante sur les sommets de colline et sur les plateaux. Deux hypothèses plausibles peuvent être avancées en admettant toujours l'érosion en nappe comme le facteur décisif d'évolution des reliefs.

PLANCHE XIII

Evolution des sols de vieille pénéplaine, dissection en demi-orange et reprise d'érosion dissymétrique

FIG. 1

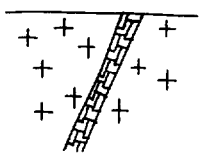


FIG. 2

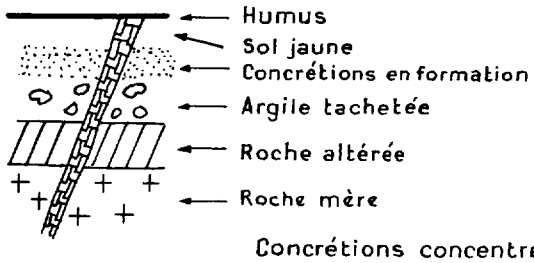


FIG. 3

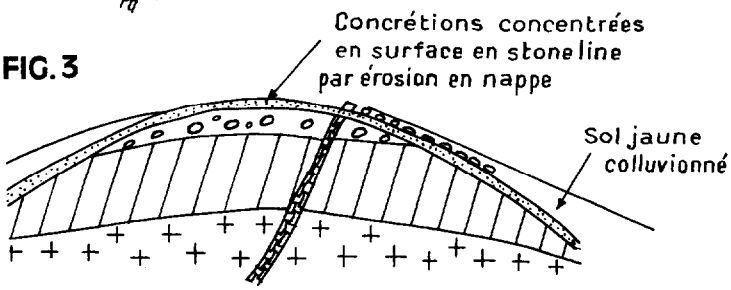


FIG. 4

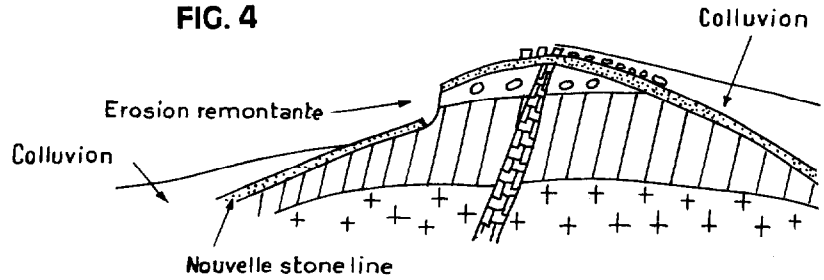


FIG. 5

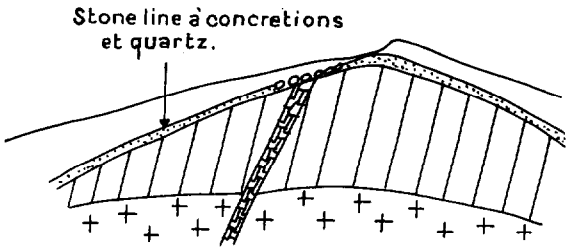


FIG. 1 et 2 : Formation d'un sol in situ sur vieille pénéplaine. Cuirasse et concrétions ferrugineuses causées par le mauvais drainage.

FIG. 3 : Dissection de la pénéplaine en demi-orange, formation de la stone line à partir des résidus de cuirasse et de concrétions.

FIG. 4 et 5 : Érosion remontante en marche d'escalier. Par ce processus d'érosion dissymétrique sur les versants, le relief diminue continuellement d'altitude, la stone line et la nappe de recouvrement colluvial semblent descendre sur place et l'affleurement de la stone line au sommet est peu étendu même sans remontée biologique des matériaux.

1. - L'attaque dissymétrique d'une colline par l'érosion remontante, alors que le versant opposé est protégé par la forêt, peut conduire en fin de cycle à un affleurement de surface très faible ou nul de la « stone line » (planche XIII, fig. 4 et 5). L'écroulement du colluvionnement du versant supposé stable et le nivellement du front d'attaque camoufle la dernière surface d'exposition de la « stone line ». Elle se trouve alors à faible profondeur sur la partie supérieure d'un des versants.

2. - L'hypothèse de RUHE, 1959 : dissection par les vallées d'un ancien pédiment (planche XIV, fig. 1,2,3,4) nous paraît très valable, car les vestiges de pénéplaines et pédiplaines sont encore très fréquents en région tropicale ou équatoriale. L'objection la plus courante à cette hypothèse est le petit nombre de reliefs résiduels qui ait pu donner naissance à ces pédiplaines, mais, d'une part, on en trouve dans certaines régions sous forme d'inselbergs ou de plateaux cuirassés, d'autre part, étant donné la vitesse d'altération des roches, leur disparition rapide et totale n'est pas exclue.

En résumé, on peut penser que les termites, les fourmis, les vers, les chablis des arbres, peuvent contribuer à la formation de la couverture. Ils peuvent en particulier cacher les endroits où la « stone line » devrait logiquement affleurer si le colluvionnement agissait seul ; mais le colluvionnement est cependant le phénomène le plus important et même unique dans certains cas, en particulier dans le cas des reliefs à inselbergs.

Il peut exister d'autres modes de transport des matériaux :

1. - La véritable coulée boueuse est rare (planche XV). Elle semble nécessiter une forte pente et une très forte saturation en eau, peu fréquente sur des sols relativement perméables et bien drainés et de bonne tenue, parce que pauvres en argile plastique. Cependant des coulées boueuses se sont produites sous forêt sur la côte est de Madagascar à la suite de plusieurs jours de pluie cyclonique. Les coulées boueuses figurées dans la planche XV sont anciennes et recouvertes d'une couverture colluviale plus récente. Elles sont facilement reconnaissables grâce à leurs gros rochers épars dans la masse.

2. - Les éboulis ne se forment que sur les pentes fortes. Ce processus d'érosion est cependant courant pour les morceaux de cuirasse et les concrétions latéritiques qui restent en surplomb dans le paysage et finissent par s'écrouler sur un talus au pied de la falaise. Ils peuvent expliquer des superpositions d'éléments hétérogènes dans la « stone line », mais non des déplacements de la couverture.

3. - La reptation, ou « creep », semble active, mais n'affecte que 20 à 50 cm de la partie supérieure du sol. Elle prépare des matériaux meubles, repris ensuite par le ruissellement diffus, dont l'action est plus intense. Elle est sans doute comme nous l'avons dit, à l'origine du fauchage des filons de quartz que l'on attribue généralement aux glissements de terrain.

4. - Le glissement vrai est rare dans ces sols, sauf sur argile géologique sédimentaire. On commet souvent l'erreur de confondre des niches de décollement avec une simple érosion régressive en marche d'escalier. Les surfaces de glissement sont peu fréquentes dans les horizons profonds des sols, ce qui condamne l'hypothèse selon laquelle la mise en place de la couverture aurait lieu par glissement lent de la masse de cette dernière sur le niveau III, avec plissement de la « stone line » consécutif à ce mouvement (voir page 82).

Glissements et coulées boueuses devraient d'ailleurs provoquer des ruptures, des discontinuités dans la « stone line », que l'on ne constate pas ou rarement, excepté si le glissement a été postérieur à la formation de la « stone line » et antérieur à la mise en place de la couverture (planche VI, fig. 2).

En résumé différents types de mouvements de terrains ont lieu, ou ont eu lieu, dans les sols des tropiques, mais le processus principal a toujours été l'érosion en nappes ruisselantes aboutissant à des colluvionnements lents et successifs sans grand bouleversement de la topographie générale. Actuellement c'est encore ce processus qui est le plus commun dans l'ensemble des régions chaudes et humides.

L'érosion en « lavaka », plutôt exceptionnelle lorsqu'on considère la grande surface occupée par les régions tropicales et équatoriales, n'est que l'aboutissement de l'érosion en nappes poussée à son paroxysme par dénudation complète du sol et reprise d'érosion géologique.

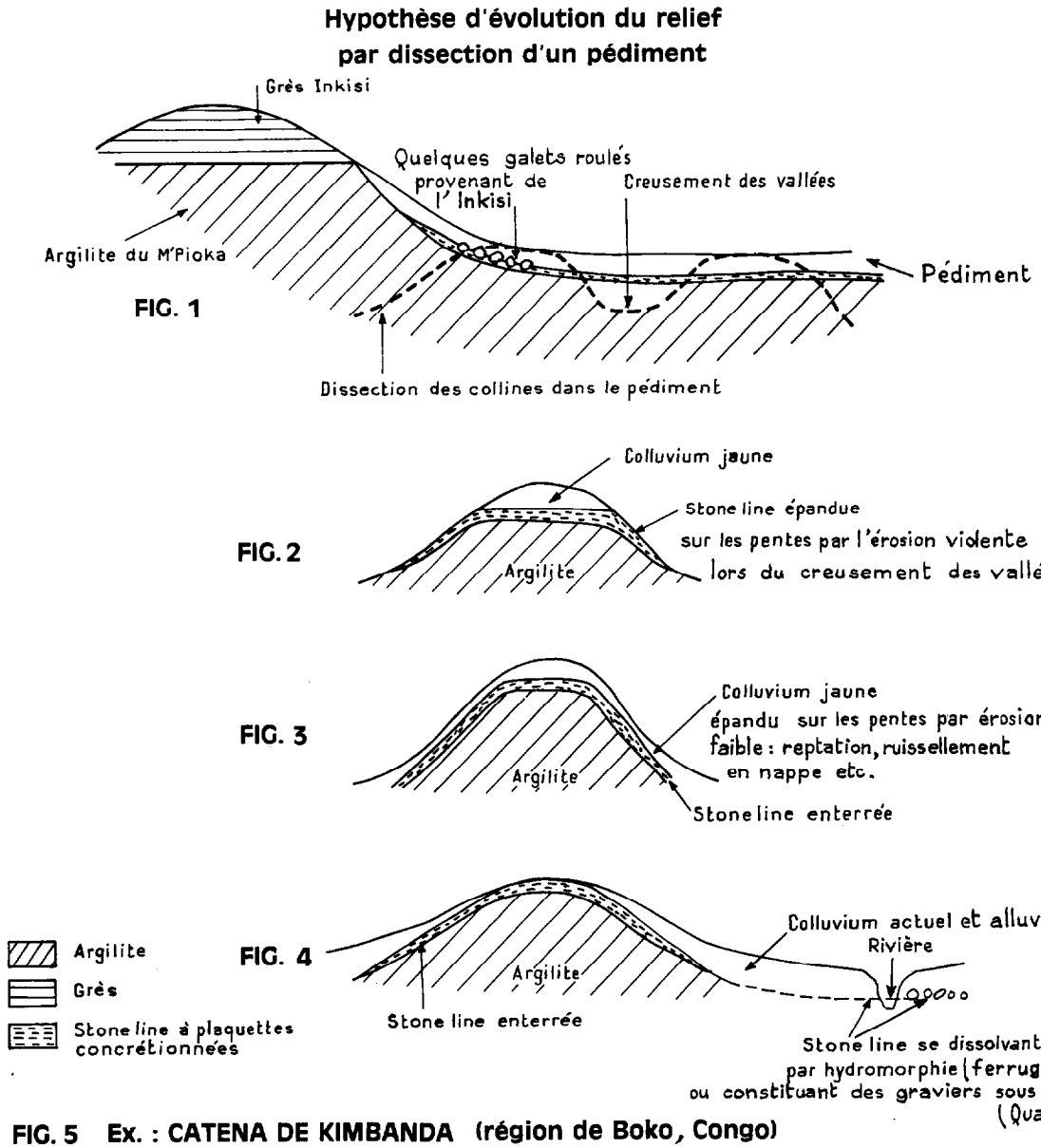


FIG. 5 Ex. : CATENA DE KIMBANDA (région de Boko, Congo)

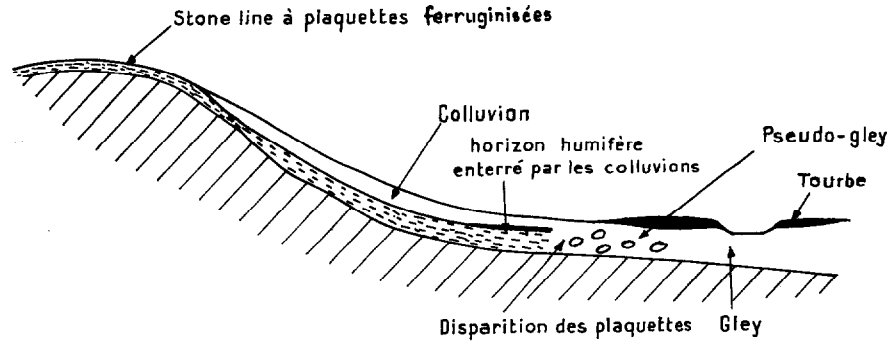


FIG. 1, 2, 3, 4 : Hypothèse de dissection d'un pédiment.

FIG. 5 : Région de Kimbanda (Sous-Préfecture de Boko) exemple de la figure 4.
Fenêtre profonde des argilites de MPioka au milieu des grès de l'Inkisi qui dominent en falaise. Cette fenêtre a dû être le théâtre de plusieurs pédimentations locales dont une est encore visible dans la grande vallée à l'ouest de Kimbanda. La coupe figure 5 a été relevée sur la colline immédiatement au nord-est de Kimbanda.

PLANCHE XV

Coulées boueuses

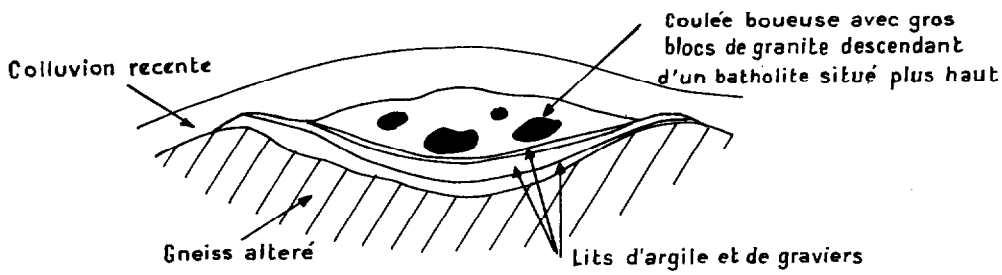


FIG. 1 **Pied du "casque de Behenjy" (Madagascar)**

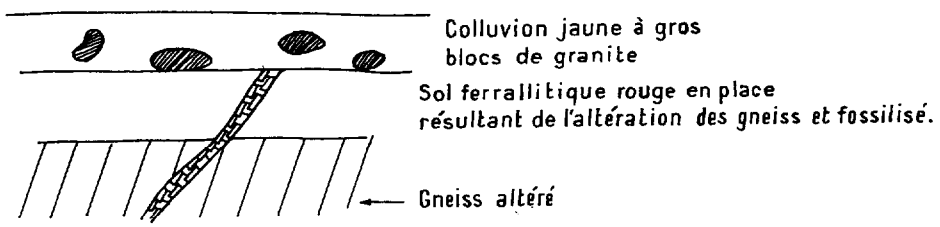


FIG. 2 **Autre coupe en bas de pente "casque de Behenjy"**

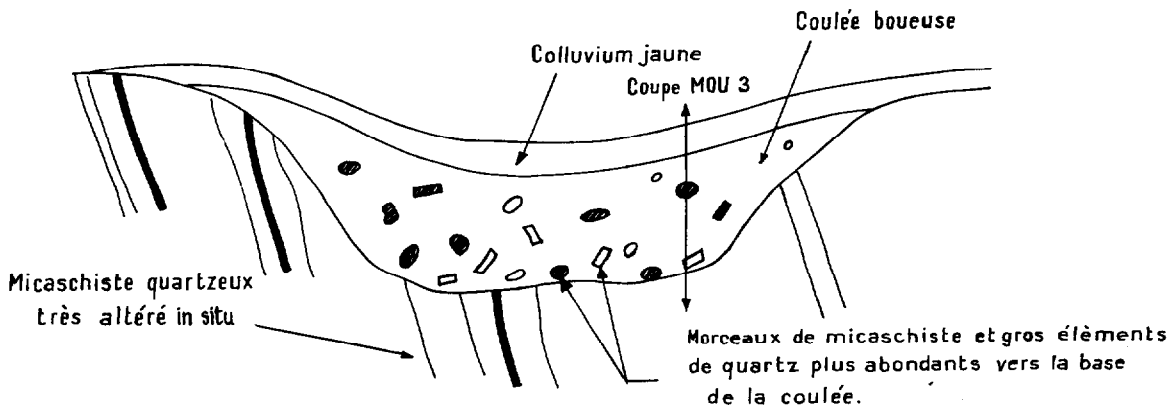


FIG. 3 **Km 7 de la route de Sounda (Congo)**

FIG. 1, 2, 3 : Exemples de coulées boueuses relevées à Madagascar et au Congo.

Enfin, pour terminer cet examen rapide des différents processus érosifs des régions tropicales et équatoriales, il faut considérer les rapports de la « stone line » avec les lits de galets des terrasses fluviatiles*.

Il y a, en général, discontinuité entre ces deux formations, car le fleuve ou la rivière a surcreusé le pavage d'érosion de bas de pente. L'ancienne berge est encore visible parfois, lorsqu'elle a été protégée par des colluvions plus récentes (planche XVI, fig. 1). Il est d'ailleurs probable que les éléments grossiers ont été charriés par le fleuve et roulés, au moment de la formation du pavage sur les pentes, donc, pendant une période de végétation plus pauvre, de climat plus sec, d'érosion plus forte.

Parfois, la « stone line » semble passer sous les alluvions sans discontinuité. On constate cependant toujours la disparition de certains éléments plus fragiles à l'hydromorphie, telles que les concrétions ferriques et l'augmentation des éléments quartzeux roulés dans la plaine d'alluvionnement. Les éléments ne sont plus jointifs, mais forment des lits d'éléments plus ou moins indépendants (planche XVI, fig. 2).

3 - DATATION DE LA « STONE LINE » ET DE LA NAPPE DE RECOUVREMENT

3.1 - DATATION PAR LES OUTILS PRÉHISTORIQUES

Nous n'apportons pas d'éléments nouveaux permettant de dater la « stone line ». Ayant travaillé dans des régions voisines de celles qui ont été étudiées par MORTELMANS (1962), nous avons adopté pour les sols du Congo sa datation établie à l'aide des industries lithiques.

Cet auteur a distingué 5 surfaces d'érosion (voir planche XVII), datées par les outils préhistoriques et coïncidant avec des périodes climatiques. Il doit être rare, sinon impossible, de trouver les 5 surfaces sur une seule coupe. Ou les surfaces sont invisibles par manque d'outils et d'éléments grossiers inaltérables, ou elles se sont confondues par un remaniement ultérieur. Les cycles successifs érosion-sédimentation ont rarement eu comme résultats des accumulations successives de sédiments sur le même profil.

Nous avons trouvé nous-mêmes un coup de poing Lupembien dans une « stone line » mise en surface par érosion, et une pointe de flèche Tshitolienne dans un niveau I, c'est-à-dire nettement au-dessus de la « stone line ». A Madagascar a été datée par le C_{14}* une tourbe de vallée enterrée par un colluvium important descendu de la colline. L'âge obtenu est de 9 630 ans AC, ce qui correspondrait à peu près à la surface III et IV de MORTELMANS. Cette surface n'est pas marquée en général par une véritable « stone line », mais par des éléments charbonneux alignés dans le profil du sol à une certaine profondeur ou par des lits de gravillons quartzeux. Ce n'est donc qu'un remaniement de la couverture.

Un fait acquis et reconnu par de nombreux auteurs, est la présence de restes préhistoriques toujours au-dessus, et jamais au-dessous, de la « stone line » unique, ou de la « stone line » inférieure s'il y en a plu-

* Beaucoup de bloc-diagrammes concernant les rapports « stone line » alluvions peuvent être consultés dans « Soil survey of the Southwest region » (Republic of Ivory Coast) development and resources corp. New York, october 1967.

* Analyse de Mme DELIBRIAS du laboratoire du C.N.R.S. de Gif-sur-Yvette.

PLANCHE XVI

Rapport stone-line et alluvion ancienne

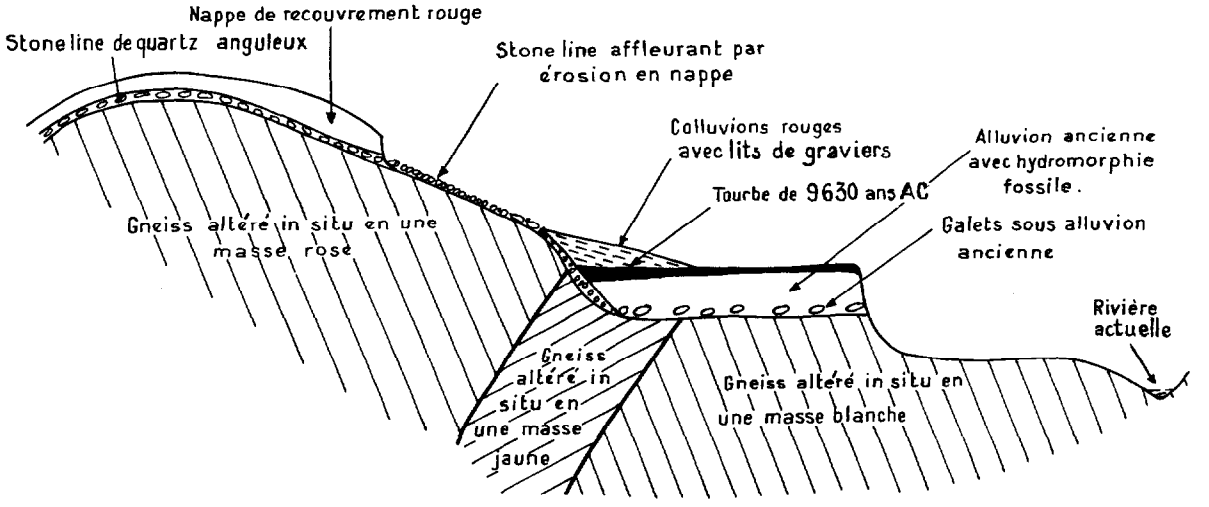


FIG. 1 **Coupe vallée de la Tafaina**
(Route Tananarive-Antsirabé, MADAGASCAR)

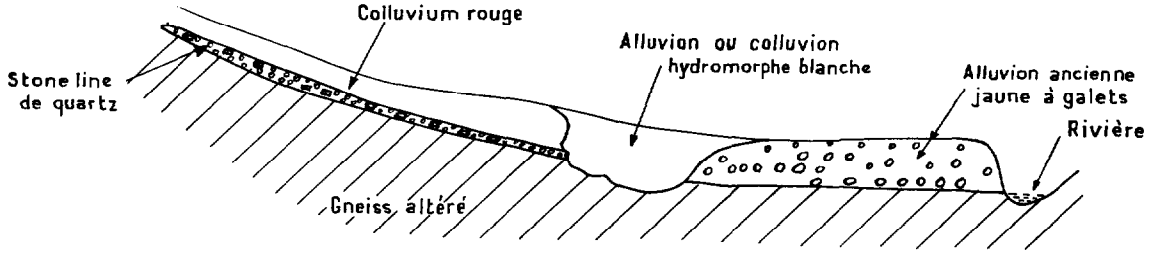
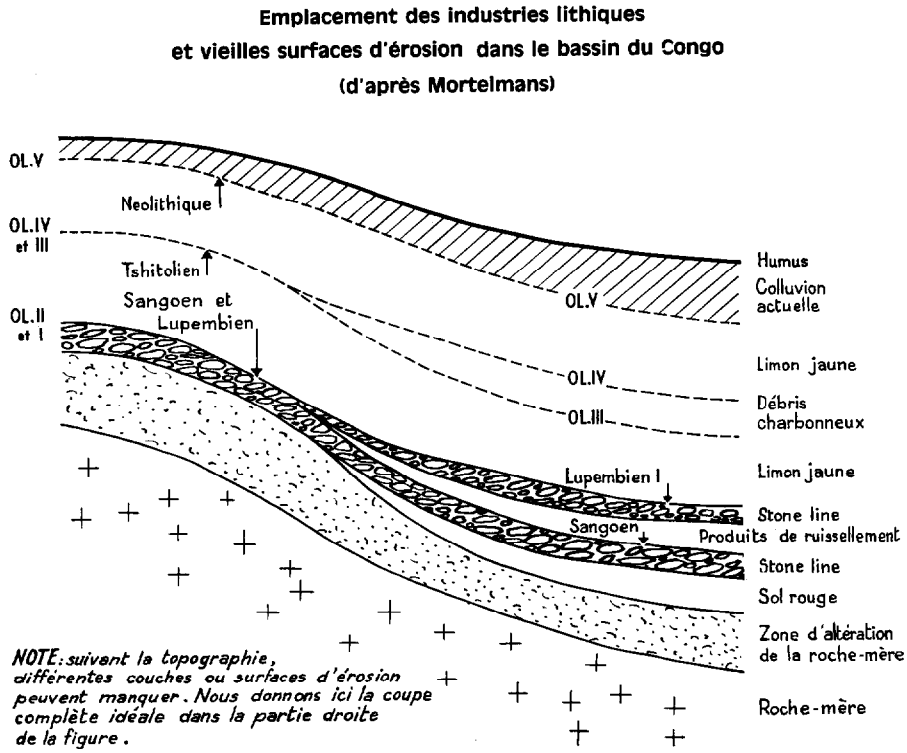


FIG. 2 **Autre coupe vallée de la Tafaina**

Continuité plus ou moins directe entre les graviers et galets sous berge et les stone lines. Les alluvions anciennes semblent comporter les mêmes éléments grossiers que la stone line, mais remaniés et roulés par l'alluvionnement le long de la vallée.

PLANCHE XVII



Profil idéal complet avec emplacement des industries lithiques (selon MORTELMANS) ; OL I, II, etc. indiquent les diverses surfaces d'érosion.

sieurs. Il semble même que les industries lithiques sont déposées à la partie supérieure de la « stone line » et très rarement à l'intérieur.

La conclusion est donc que le processus de formation de la « stone line » dans la région étudiée a commencé à une époque antérieure ou contemporaine du Sangoen, donc antérieure à 40 000 ans environ, peut-être dans la période sèche du Pléistocène moyen entre le pluvial Kangerien et le Gamblien, ou dans l'inter-glaciaire Riss-Wurm ou Tyrrhénien. Les sables du Kalahari ont été remaniés à cette époque car ils contiennent du Sangoen (WATSON, 1965).

3.2 - AGE RÉEL DES « STONES LINES »

Mais à notre avis, il est vain de déterminer des périodes climatiques correspondantes à chaque surface d'érosion et de fixer des dates pour la « stone line » d'une grande région géographique.

En effet :

1. - Chaque « stone line » a été remise en surface peut-être plusieurs fois. D'autres « stone lines » plus récentes ont pu se confondre avec la première par une érosion ultérieure (« stone line » mixte). Une seule nappe d'éléments grossiers marque alors plusieurs périodes érosives successives.

2. - Nos observations permettent de constater des pavages d'érosion actuels dans la région de Boko (Congo) sur argilite très érodée, à végétation de graminées très dégradée et où la reprise d'érosion par les affluents du Congo paraît probable. Par contre, les « stone lines » de la région du Chaillu (Congo) sont profondes et sous végétation forestière. A l'époque actuelle, nous constatons donc un pavage d'érosion en formation et une région stable sans érosion, dans des climats tropicaux presque semblables, et à relativement peu de distance. A une échelle plus grande, des pavages d'érosion se forment dans la région de Bekily (Madagascar), du Fouta Djallon (Guinée), du nord du Dahomey. Des particularités de roche, de topographie, de végétation et aussi d'action humaine, suffisent donc à la création de « stone lines », sans qu'il soit nécessaire d'imaginer des variations climatiques catastrophiques, et en particulier des périodes sèches de climat désertique Des saisons alternantes assez longues (4 à 5 mois secs), et des pluies pouvant varier de 800 à 2 000 mm par an, paraissent des conditions suffisantes.

3. - La répartition géographique actuelle de zone érodée et de zone stable laisse supposer que les « stone lines » d'une grande région ne sont pas obligatoirement contemporaines. On peut cependant penser qu'à l'échelle géologique, il y eut de vastes périodes climatiques plus favorables à leur formation.

4. - Les « stone lines » se rencontrent dans les formations meubles superficielles, dans les sols proprement dits ; elles sont donc la plupart du temps quaternaires. Cependant, il est probable que le même cycle érosif et les mêmes processus d'érosion et de sédimentation ont conduit aussi dans le passé géologique à des formations équivalentes, que certaines circonstances ont pu conserver jusqu'à nos jours. L'existence d'une nappe de concrétions et de blocs latéritiques, à 5-6 m de profondeur, dans la série sédimentaire des Cirques appartenant au Mio-Pliocène, sur le sédimentaire de la vallée de Niari et sous les sables de Yangambi, peut laisser supposer l'existence de « stone lines » géologiques plus anciennes dans des formations meubles en général sableuses. La persistance de surfaces d'érosion en Afrique notamment depuis le mi-tertiaire est en faveur de l'existence de ces « stone lines ».

3.3 - RÉSUMÉ

Il existe des « stone lines » très anciennes, peut être tertiaires, mais celles que l'on rencontre le plus souvent sont quaternaires et antérieures au Pléistocène moyen en général. Elles ont pu être remaniées, donc rajeunies, chaque fois qu'un climat favorable et une végétation convenable se présentaient. Sur sol jeune et pente forte (Mayombe), (photo 3), elles sont certainement plus récentes encore. Enfin, ces cycles peuvent se localiser à une seule région physiographique à une époque déterminée. On peut donc parler de formation continue dans le temps.

Nous n'avons traité que de la datation des nappes d'éléments grossiers, en supposant évidemment que la nappe de couverture est postérieure. A l'échelle géologique la différence d'âge des deux formations doit être minime. On peut parler de cycles pavage d'érosion-couverture suivis d'un intervalle de temps assez grand entre les cycles. A l'aide des industries lithiques, on peut seulement dater le dernier cycle avant la période stable qui s'est poursuivie jusqu'à nos jours.

4 - CONCLUSIONS

4.1. Les profils pédologiques des sols équatoriaux et tropicaux sont souvent complexes. La « stone line » visualise une discontinuité entre un matériel en place et un matériel homogénéisé et allochtone, même s'il n'a été que peu déplacé.

4.2. La « stone line » elle-même présente un certain intérêt pour des reconstitutions paléogéographiques ou géomorphologiques, en particulier pour déterminer l'extension de certaines couches géologiques aujourd'hui complètement érodées.

4.3. Elle a des conséquences agronomiques assez importantes, notamment pour certaines cultures comme le caféier, dont les racines sont très sensibles à la présence d'éléments grossiers.

4.4. Elle permet de replacer le profil pédologique dans son cadre historique et de mieux dégager les influences actuelles des facteurs pédologiques de celles du passé.

4.5. Elle oblige le pédologue à repenser le fameux équilibre vitesse d'érosion-vitesse d'altération, qui permet de distinguer les sols jeunes et les sols murs. Le phénomène peut être très complexe, car l'érosion n'est pas un phénomène continu. Durant un cycle érosif, l'érosion peut être plus rapide que la vitesse d'altération de la roche-mère, mais n'agir par contre que sur la partie supérieure du profil. Un dépôt ultérieur de colluvions à matériaux peu altérés constitue alors un profil pédologique jeune, souvent lié au climat et à la végétation actuels, reposant sur un vieux profil marqué par les anciennes conditions climatiques du lieu. Mais l'apport des matériaux issus d'un vieux sol n'est pas exclu. On obtient alors un jeune profil à partir de matériaux très évolués.

Surtout, l'érosion ne doit pas être considérée comme constante dans le temps, mais passant par des périodes de suractivation. Les périodes d'arrêt de l'érosion et de colluvionnement ne sont pas négligeables. On rejoint ainsi la notion de biostasie et de rhexistasie de EHRART.

Nous avons étudié les « stone lines » en climat équatorial et tropical, mais elles existent aussi en région froide. Dans le nord du Pays de Galles, par exemple, la couverture a été mise en place par solifluxion (BALL). Des remaniements de la surface du sol avec ou sans « stone line », ont été signalés dans les sols ferrugineux tropicaux de Haute-Volta (Kaloga). Le remaniement par cycle érosion en nappe-colluvion semble très général et peut expliquer beaucoup de profils pédologiques complexes.

BIBLIOGRAPHIE

BERRY (L.), RUXTON (B.P.), 1959. — Notes on weathering zones and soils on granitic roks in two tropical zones. *J. Soil Sci.*, 10, pp. 54-63.

BIROT (P.), 1963. — Étude morphologique des plateaux du centre de Madagascar. Madagascar, *revue de géographie*, n° 3, pp. 1-39.

BOISSEZON (P. de), 1966. — Reconnaissance pédologique de la partie orientale du Massif du Chaillu. Centre ORSTOM de Brazzaville, 71 p. multigr.+ann.

BOISSEZON (P. de), JEANNERET (J.C.), 1965. — Les sols de la coupure Mayama. Centre ORSTOM de Brazzaville, 111 p. multigr. +ann.

BOURGEAT (F.), PETIT (M.), 1966. — Les « stone lines » et les terrasses alluviales des hautes terres malgaches. *Cah. ORSTOM, ser. Pédol.*, IV, pp. 3-19.

BRUCKNER (W.), 1967. — Laterit and bauxite profils of West africa as an index of rythmical climatic variations in the tropical belt. *Eclog. geol. Helveticae*, 50, pp. 239-256.

BRUCKNER (W.), 1955. — The mantle rock (« laterite ») of the Gold Coast and its origin. *Geol. Rundschau*, 43, pp. 307-327.

CHATELIN (Y.), 1959. — Reconnaissance pédologique des régions agricoles de l'Ogooué-Lolo et du Haut Ogooué (Gabon) ORSTOM. IEC G 33. Brazzaville, 91 p. multigr.

CHATELIN (Y.), 1959. — Reconnaissance pédologique le long de la route Kougouleu-Medouneu (région de l'estuaire) ORSTOM. IEC, G 34. Brazzaville, 15 p. multigr.

DE HEINZELIN (J.), 1955. — Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux. *Publ. INEAC* sér. sci. n° 64. Bruxelles, 37 p.

DRESCH (J.), 1962. — Sur quelques aspects régionaux du relief à Madagascar. *Bull. Ass. Géogr. fr.*, n° 309-310, pp. 236-251.

GRAS (F.), 1967. — Étude pédologique des abords de la Bouenza dans la coupure de Sibiti. Centre ORSTOM de Brazzaville MC 142, 89 p. multigr.

GREEN (P.), 1966. — Mineralogical and weathering study of a red-brown earth formed on granodiorite. *Austr. J. Soil Res.*, 4, pp. 181-197.

JAMET (R.), 1966. — Étude pédologique d'une zone témoin dans la région de Holle (avec carte au 1/50 000e). Centre ORSTOM de Brazzaville MC 138, 96 p. multigr.

JONGEN (P.), 1957. — Genèse des sols de pédiplaines en Ubangui (Congo Belge) *Pédologie*, Gand, VII, pp. 133-144.

LAPORTE (G.), 1962. — Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée Comilog. *I.R.S.C.* MC 119. Brazzaville, 149 p. multigr.

LÉVÈQUE (A.), 1968. — Le problème des sols à nappes de gravats. *Cah. ORSTOM sér. Pédol.*, VI, 4, pp.

MARCHESSEAU (J.), 1965. — Études minéralogiques et morphologiques de la « stone line » au Gabon. *BRGM.* Libreville G 5. A.9, 109 p. multigr.

MOORSEL (H.J.), 1959. — Paléolithique ancien à Léopoldville. Studia Universitatis « Lovanium ». Fac. Sci., n° 9. Léopoldville, 24 p.

MORTELMANS (G.) MONTEYNE (R.), 1962. — Le quaternaire du Congo occidental et sa chronologie. Congrès panafr. Préhist. Et. Quaternaire. 4. 1959. Léopoldville. Musée royal de l'Afrique Centrale. Ann. in 8° Sci. hum. n° 40, pp. 97-132.

NYE (P.H.), 1954-1955. — Some soil forming processes in the humid tropic. *J. Soil Sci.*, 5, pp. 7-21 ; 6, pp. 51-83 ;

OLLIER (C.D.), 1959. — A two-cycle theory of tropical pedology. *J. Soil Sci.*, 10, pp. 137-148.

PARIZEK (E.J.) WOODRUFF (J.F.), 1957. — Description and origin of stone layers in soils of the southeastern states. *J. Geol.*, 65, pp. 24-34.

RIOU (G.), 1965. — Notes sur les sols complexes des savanes préforestières en Côte-d'Ivoire. *Ann. Univ. Abidjan Lettres Sci. hum.*, 1, pp. 17-35.

ROUGERIE (G.), 1960. — Le façonnement actuel des modelés en Côte-d'Ivoire forestière. *Mém. IFAN* n° 58. Dakar, 542 p.

RUHE (R.V.), 1956. — Landscape evolution in the High Ituri, Belgian Congo. *Publ. Ineac.* ser. sci. n° 66. Bruxelles, 92 p.

RUHE (R.V.), 1959. — Stone lines in soils. *Soil Sci.*, 87, pp. 223-231.

RUXTON (B.P.) BERRY (L.), 1961. — Weathering profile and geomorphic position on granite in two tropical regions. *Rev. Geomorph. dyn.*, XII, 1, pp. 16-31.

STOOPS (G.), 1967. — Le profil d'altération au Bas-Congo (Kinshasa). *Pédologie*, Gand, XVII, pp. 60-105.

TRICART (J.), CAILLEUX (A.), 1965. — Traité de géomorphologie. V. Le modelé des régions chaudes. Forêts et savanes. SEDES, Paris, 322 p.

TRICART (J.), CAILLEUX (A.), 1957. — Zones phytogéographiques et morphoclimatiques au quaternaire au Brésil. *C. R. soc. fr. Biogeogr.*, n° 296, pp. 7-11.

VINCENT (P.L.), 1965. — Formations meubles superficielles au Sud du Congo et du Gabon. Mission 1964-1965. *B.R.G.M.* Brazzaville 65 A 9, 65 p. multigr. + ann.

WAEGEMANS (G.), 1953. — Signification pédologique de la « stone line ». *Bull. agric. Congo belge*, XLIV, pp. 521-532.

WATSON (J.P.), 1954-1955. — A soil catena on granite in southern Rhodesia. *J. Soil Sci.*, 15, pp. 238-257 ; 16, pp. 158-169.

Photo n° 1 : Coupe de la voie ferrée Congo-Océan entre Brusseau et Marchand. 51 : Nappe de recouvrement jaune, 52 : stone line ondulée mixte présentant des galets roulés provenant de l'étage géologique Inkisi reposant sur des plaquettes ferruginisése provenant de M'Pioka, 53 : argilite du M'Pioka altérée.

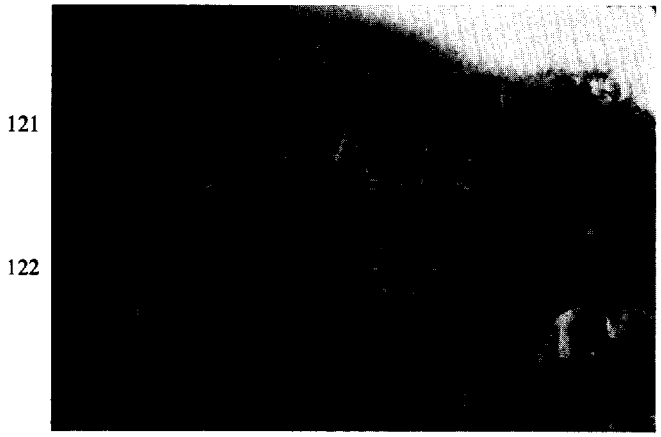


Photo n° 2 : Coupe de la voie ferrée Congo-Océan près de Mindouli. 121 : Nappe de recouvrement jaune, 122 : stone line épaisse constituée de gravillons ferrugineux, morceaux de cuirasse démantelée, grès ferrugineux et morceaux de quartzite, 123 : altération d'un calcaire à cherts.

Photo n° 3 : Route de Sounda dans le Mayombe.
Nappe colluviale, stone line très mince quartzeuse, altération de schistes micacés à filaments de quartz.

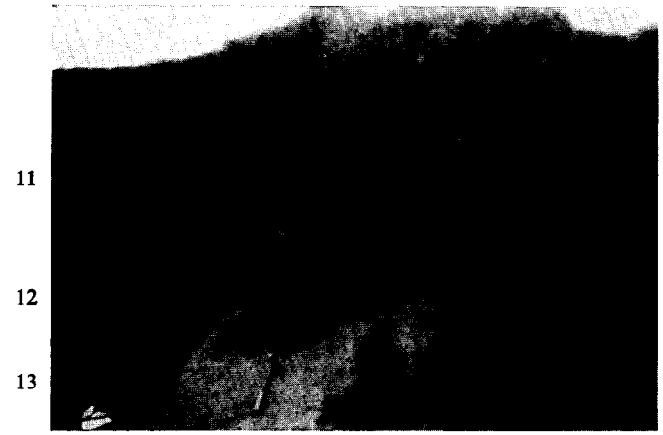


Photo n° 4 : Carrière près de Kinkala, Profil KRI 1.
11 : Masse colluviale rougeâtre sableuse, grains de quartz provenant de l'Inkisi, 12 : stone line de plaquettes de grès ferrugineux posés à plat. Ces grès renferment des grains de quartz éoliens provenant sans doute des grès polymorphes Batéké, 13 : altération des grès de l'Inkisi.