

## COMPOSITION, PROFONDEUR ET RÉPARTITION SPATIALE DES STONE-LINES DU SUD-SHABA (ZAÏRE)

PAR

ALONI K. \*, MBENZA M. \* & J. ALEXANDRE \*\*

RÉSUMÉ. — L'observation systématique des stone-lines dans un quadrillage de puits de prospection permet d'éviter le biais dû à une limitation aux affleurements livrés par les fossés et les tranchées du réseau routier, qui affectent essentiellement les points culminants et les rebords de plateau. Dans les cinq secteurs analysés, la stone-line est absente dans 44% des cas, à cause, soit de l'absence d'éléments résiduels grossiers (12%), soit de la pente trop forte qui s'oppose à la structuration en trois niveaux (32%). Une grande partie des stone-lines (85%) ont un matériel grossier en rapport avec le substratum, plaidant pour une origine résiduelle avec des déplacements très limités qui expliqueraient la proportion assez élevée des épaisseurs supérieures à 50 cm (88%). La profondeur à laquelle se trouve la stone-line est relativement grande (2-7 m) et varie plus d'un secteur à l'autre qu'au sein d'un même secteur. Il faut rechercher la cause de ce phénomène, les substrats étant peu différents, dans l'histoire géomorphologique de chaque secteur depuis la formation de la surface d'érosion (tertiaire ?) à laquelle la stone-line est souvent associée.

SAMENVATTING. — *Samenstelling, diepte en ruimtelijke verdeling van stone-lines van Zuid-Shaba (Zaire).* — De systematische waarneming van de stone-lines in een vierkant netwerk van prospectie-putten laat toe de toevalligheid te vermijden die veroorzaakt wordt door ontsluitingen die beperkt zijn tot grachten en uitgravingen van het wegennet, die vooral de hoogste punten en de randen van het plateau aansnijden. In de vijf geanalyseerde sectoren is de stone-line afwezig in 44% van de gevallen, ter oorzaak van ofwel de afwezigheid van grof residueel materiaal (12%), ofwel de te sterke helling die de structuratie in drie niveaus verhindert (32%). Een groot deel van de stone-lines (85%) hebben een grof materiaal dat in verband staat met het substratum, hetgeen pleit voor een residuele oorsprong met zeer beperkte verplaatsingen, die het tamelijk hoge percentage van stone-lines dikker dan 50 cm zouden verklaren (88%). De diepte waarop de stone-line zich bevindt is tamelijk groot (2-7 m) en verschilt meer van de ene sector tot de andere dan in één zelfde sector. Daar de

\* Département de Géographie, B.P. 1825, Lubumbashi (Zaire).

\*\* Laboratoire de Géomorphologie intertropicale, Université de Liège, Place du 20 Août 7, B-4000 Liège (Belgique).

substraten weinig verschillen, moet de oorzaak van dit fenomeen gezocht worden in de geomorfologische geschiedenis van elke sector vanaf de vorming van de (tertiaire ?) erosie-oppervlakte waaraan de stone-line dikwijls verbonden is.

*SUMMARY.* — *Composition, depth and spatial distribution of the stone-lines of Southern Shaba (Zaire).* — Systematic observation of the stone-lines in a squared network of prospecting bore holes enables one to avoid the bias inherent in an approach which limits itself to outcrops of the drain or road trenches which affect principally the highest points or the plateau edges. In the five areas analyzed, stone-lines are absent in 44% of the cases, because of a lack of coarse residual components (12%) or of too steep slopes which impede the structuration in three levels (32%). A large proportion of the stone-lines (85%) are made of coarse material related to the bed-rock, suggesting a residual origin with limited shifts which might explain the large percentage of stone-lines thicker than 50 cm. The depth the stone line is lying at is fairly important (2-7 m) and varies more from one area to the other than inside a particular area. As the bed-rocks are not very different, the cause of this phenomenon is to be looked for in the geomorphological history of each area since the formation of the erosion surfaces (Tertiary ?) the stone-line is linked with.

### Introduction

Malgré une littérature déjà très abondante et des synthèses souvent fort fouillées sur les stone-lines, comme celle effectuée par VOGT (1966), l'intérêt de l'étude des niveaux grossiers des sols ne cesse de s'accroître. Celui-ci s'explique autant par l'importance des significations d'ordre géomorphologique, pédologique, paléoclimatique et archéologique qu'on leur accorde que par le souci toujours plus grand de mieux comprendre le processus complexe de leur mise en place.

Plusieurs hypothèses ont été formulées, en effet, à propos de la concentration des matériaux grossiers en un niveau dans le sol et de leur recouvrement par un manteau d'éléments fins présentant très souvent des parentés texturales avec le substratum en place, malgré la discontinuité introduite par la stone-line.

Il convient cependant de reconnaître que beaucoup de ces hypothèses sont parfois construites sur des observations localisées et n'ont, de ce fait, qu'une portée limitée. Si les conclusions qu'elles permettent d'établir ne sont pas nécessairement fausses, leur généralisation à d'autres milieux doit se faire avec discernement.

En ce qui concerne l'Afrique, les travaux les plus nombreux sur les stone-lines ont été principalement effectués en Afrique occidentale et dans une moindre mesure, en Afrique centrale. Rien ou presque rien n'a été entrepris en Afrique australe et orientale à la frontière desquelles se situe le Shaba méridional.

En effet, devant la diversité reconnue des niveaux à éléments grossiers, définis comme «stone-lines» depuis que ce terme a été utilisé par les auteurs anglo-saxons pour désigner, à l'origine, une simple ligne de pierres, la nécessité de disposer partout d'observations locales détaillées s'avère indispensable pour parvenir à des synthèses plus satisfaisantes sur les caractéristiques et les conditions de formations des stone-lines.

La présente étude entreprise dans cette optique ainsi que celle de vérifier la possibilité d'étendre au Shaba les conclusions de travaux effectués dans d'autres régions vise à fournir des observations faites systématiquement sur les stone-lines, notamment la composition de leurs matériaux constitutifs, leur profondeur et leur répartition spatiale.

### Procédé d'étude

Le travail a été réalisé en se fondant sur les données fournies par les puits de prospection minière entrepris par le Service géologique de la Gécamines dans les secteurs de Kamwali, Midiashi, Luishia et Shangulowe situés approximativement le long de l'axe ferroviaire Lubumbashi-Kolwezi, à une distance respectivement de 50, 70, 80 et 130 km de Lubumbashi, ainsi que dans les environs de Lubumbashi même (Fig. 1). Les puits ont été pratiqués à un intervalle de 100 m ou 200 m suivant la nature des terrains, dans un périmètre d'étendue variable, de 4 à 84 km<sup>2</sup>. Au total, les données de 1221 puits ont été récoltées dont un échantillon de 1075 profils a fait l'objet d'une analyse détaillée.

Souignons qu'opéré dans un but bien précis, le choix des sites de prospection du cuivre peut, à première vue, biaiser l'échantillon. Si, en effet, on constate dans les sites prospectés une prédominance des formations géologiques favorables à la minéralisation telles que la série des Mines (CMN, SD, RSC, RSF), les roches des autres niveaux stratigraphiques de la région, sont également présentes notamment les schistes et les schistes gréseux des Kundelungu inférieur et supérieur ainsi que la tillite du Grand Conglomérat à la base du Kundelungu inférieur (Fig. 2). Toutes ces formations géologiques appartiennent au système du Katanguien d'âge précambrien. Au point de vue géomorphologique, les secteurs prospectés réunissent à peu près tous les grands traits des ensembles morphologiques reconnus au Shaba méridional, à savoir : de vastes surfaces d'aplanissement à pente faible, des buttes résiduelles à pente relativement forte pouvant atteindre ou même dépasser localement des valeurs de l'ordre de 30°, notamment dans la partie sommitale où la roche en place affleure souvent, de larges dépressions avec

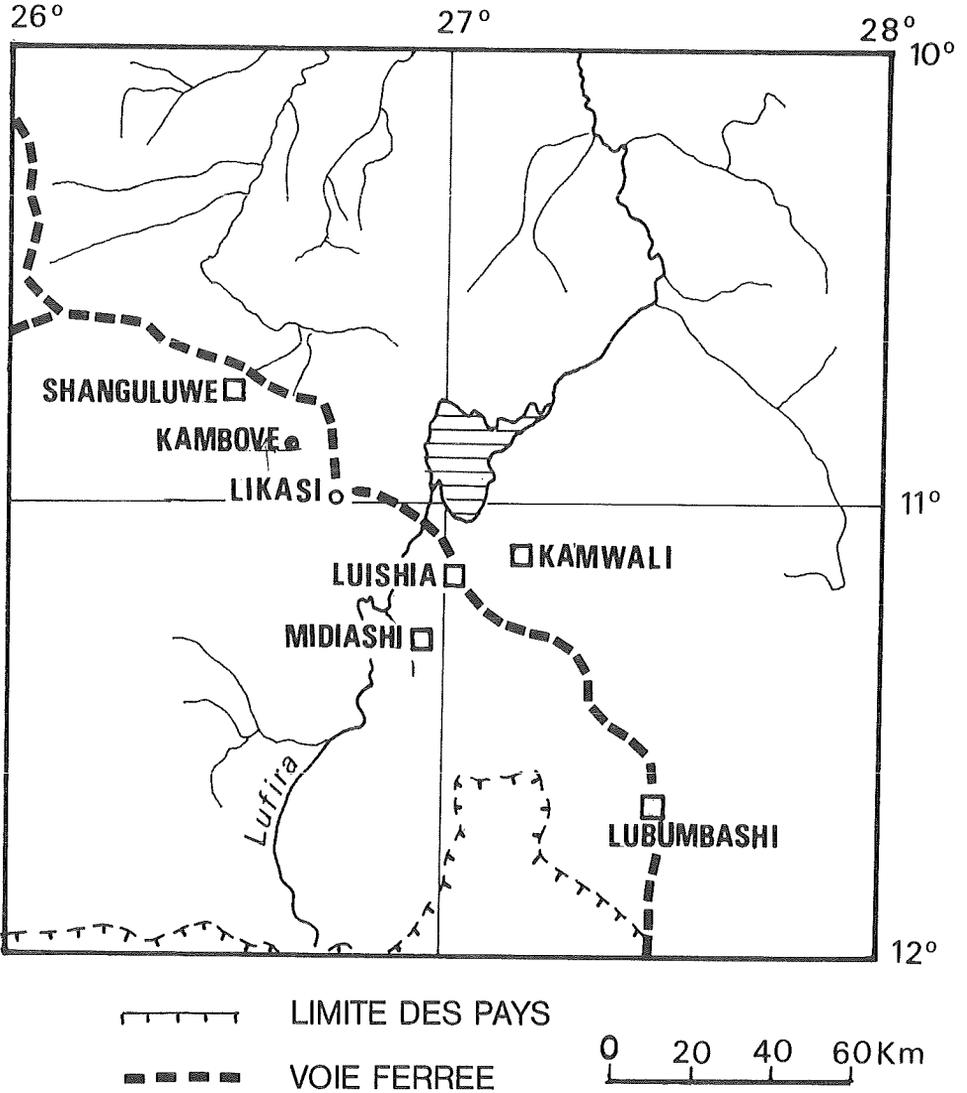


Fig. 1. – Localisation des secteurs étudiés.

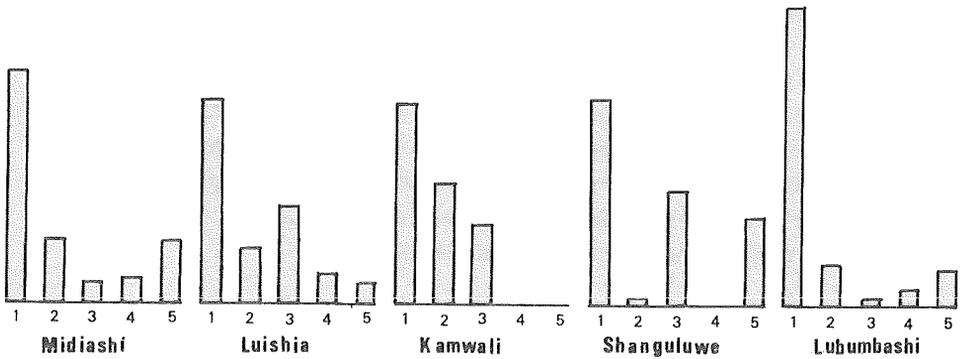


Fig. 2. — Composition pétrographique du substratum par secteur : (1) Roches schisteuses et schistes dolomitiques, (2) Roches gréseuses, (3) Roches dolomitiques ou silicifiées, (4) Conglomérat et tillite, (5) Roches indéterminées.

parfois des thalwegs incisés plus ou moins profondément, témoins d'une reprise récente d'érosion qui a pu localement disséquer les surfaces d'aplanissement. C'est le cas des secteurs de Shangulowe et Kamwali, relativement découpés avec des pentes parfois accusées. Dans les autres secteurs et surtout dans les environs de Lubumbashi, les surfaces d'aplanissement sont plus développées. Leur pente ne s'élève guère au-dessus de 2 ou 3° qu'aux abords des rares vallées encaissées ou des nombreuses buttes résiduelles.

Le quadrillage des puits a permis une observation systématique des stone-lines évitant ainsi le biais imposé par les routes en déblais dont l'échantillon s'applique essentiellement au rebord du plateau ou aux lignes de crête.

Les profils ont été analysés niveau par niveau quant aux caractéristiques de leurs matériaux : nature lithologique, couleur, dimension, forme, disposition, type et profondeur des contacts entre niveaux, ... On a, d'autre part, utilisé les cartes dressées par le Service Géologique de la Gécamines pour la localisation des puits. Des observations occasionnelles sur des coupes naturelles ou artificielles le long des cours d'eau et en bordure des routes ont parfois permis de préciser certaines observations effectuées à partir des puits.

Des 1075 profils étudiés, 601 soit environ 56% sont des profils à trois niveaux avec une stone-line, 130 soit 12% des profils à deux niveaux c'est-à-dire sans stone-line, le contact entre la couverture fine et le substratum étant marqué par une limite nette, et enfin 344 profils soit 32% sont sans structure. Il s'agit, pour ces derniers, de dépôts de pente où la couverture fine

contient des éléments grossiers sur toute son épaisseur ou de profils où la roche en place affleure. Le tableau 1 donne la répartition par secteur de ces types de profils. À l'exception de Luishia où le nombre d'observations est très élevé, on peut facilement remarquer que cette répartition est relativement équilibrée. De ce fait, le rapport entre le secteur où le nombre de profils est le plus bas et celui où il est le plus élevé est à peine supérieur à 2. C'est à Shangulowe et Kamwali, secteur relativement plus disséqué, que la proportion des profils à stone-lines est la plus faible.

### Nature des matériaux des stone-lines

Les matériaux constitutifs de l'ensemble des stone-lines observées ont été regroupés en six classes en fonction de leur composition principale. Ceci a permis de distinguer alors six types de stone-lines, à savoir :

- les stone-lines à débris de roche en place ;
- les stone-lines à fragments de quartz anguleux ;
- les stone-lines à grenaille latéritique ;
- les stone-lines à matériaux roulés, c'est-à-dire gravillons, graviers ou cailloux roulés ;
- les stone-lines à cuirasse latéritique bien compacte ou dans un état de démantèlement avancé ;
- les stone-lines à débris de roche en place et éléments roulés mélangés.

Si cette distinction est, à n'en point douter, relative parce que toutes les stone-lines sont pratiquement composées de matériaux assez différents, elle permet néanmoins d'avoir une idée des tendances qui se révèlent au premier coup d'œil lors des observations. Elle constitue donc un critère pratique, facilement utilisable sur le terrain.

Les différents types de stone-lines ainsi distingués sont repris au tableau 2. Comme on peut facilement s'en rendre compte, les proportions varient dans un intervalle de 7 à 52%. Ce sont les débris de roche en place qui constituent les matériaux les plus fréquents des stone-lines. Tandis que la grenaille latéritique n'est un matériau constitutif que dans 7% des stone-lines de la région. Cette proportion paraît faible, surtout si on la compare à l'étendue très grande des sols polygéniques du Shaba très souvent chargés de gravillons latéritiques (SYS 1961, ALONI 1975). La raison est que probablement beaucoup de concrétions tels que les débris de roches très indurées malgré leur apparence externe semblable aux gravillons latéritiques n'ont pas été considérés comme matériaux de la grenaille latéritique au sens strict. En

**Tableau 1**  
*Répartition par secteur des types de profil*

Secteur	Profil à 3 niveaux (stone-line présente)		Profil à 2 niveaux contact direct (stone-line absente)		Profil sans structure		Total des profils	
	n	%	n	%	n	%	n	%
SHANGULOWE	50	4.7	6	0.6	85	7.9	141	13.1
LUIISHIA	230	21.4	45	4.2	124	11.5	399	37.1
KAMWALI	81	7.5	23	2.1	42	3.9	146	13.6
MIDIASHI	119	11.0	46	4.3	70	6.5	235	21.9
LUBUMBASHI	121	11.3	10	0.9	23	2.1	154	14.3
Ensemble de la région	601	55.9	130	12.1	344	32.0	1075	100

**Tableau 2**  
*Composition des matériaux des stone-lines par secteur  
et pour l'ensemble de la région (en pourcent)*

Secteur	NATURE DES MATÉRIEAUX CONSTITUTIFS						
	Débris de roche en place	Fragment de quartz angu- leux	Éléments roulés (gravier et cailloux)	Débris de roche et élément	Cuirasse latéritique	Grenaille latéritique	
SHANGULOWE	9.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	
LUIISHIA	14.1	0.5	1.4	5.5	3.6	1.4	
KAMWALI	11.2	0.0	0.7	0.1	2.6	1.5	
MIDIASHI	17.1	2.4	3.0	0.3	2.2	0.7	
LUBUMBASHI	0.5	8.1	6.2	0.4	2.9	3.6	
Ensemble de la région	52.4	11.0	11.4	6.3	11.8	7.2	

outre, certains types de matériaux de stone-lines comme la cuirasse latéritique en démantèlement peuvent comporter une importante fraction de gravillons libres non considérés comme grenaille à part entière à cause des limites imposées par le critère de classement. La grenaille latéritique est, en tout cas, présente dans au moins 40% des stone-lines à matériaux hétérogènes de la région.

La part des stone-lines décrites, par manque de terme plus spécifique comme formées à la fois de débris de roche et d'éléments roulés est d'environ 7%.

La composition des stone-lines considérée par secteur ne montre de différence relativement importante que pour les environs de Lubumbashi où, contrairement à la proportion élevée et relativement équilibrée observée dans les autres secteurs, la part des stone-lines composées de débris de roche en place est très faible, à peine 0,5% contre 9, 11, 14 et même 17% respectivement à Shangulowe, Kamwali, Luishia et Midiashi. Par contre, les stone-lines composées de fragments de quartz s'y rencontrent avec une proportion assez élevée (8%), alors que dans les autres secteurs elle est nulle ou très faible, sauf à Midiashi, avec 2.4%. C'est également dans le secteur de Lubumbashi que les proportions de stone-lines composées d'éléments roulés et de grenailles latéritiques (6 et 4%) sont les plus élevées. La composition des stone-lines faites de débris de roche et d'éléments roulés, très souvent des gravillons latéritiques, est le mieux représentée (5,5%) dans les environs de Luishia.

En comparant les types de stone-lines dans un même secteur, on constate que c'est à Lubumbashi que la diversité est la plus grande, tandis qu'elle est la plus faible à Shangulowe où plus de 90% des stone-lines sont composées de débris de roche. La situation des autres secteurs est intermédiaire. Elle s'approche de l'une ou l'autre composition extrême suivant que le secteur est plus ou moins disséqué.

La composition des débris de roche en place, principaux matériaux constitutifs des stone-lines relève des trois principales natures pétrographiques :

- des débris de roches schisteuses,
- des débris de roches gréseuses, dolomitiques ou silicifiées,
- des débris de roches conglomératiques ou tillitiques.

Dans plus de 50% des cas, ces débris ont été soit latéritisés (ferruginisés) soit silicifiés et sont, de ce fait, très souvent indurés. Les débris de schiste constituent de ce fait le matériau de plus de 60% des stone-lines à débris de roche.

Les débris de roches gréseuses, dolomitiques ou silicifiées entrent dans la composition d'environ 35% tandis que la proportion des débris de roches tilliteuses et conglomératiques n'est que de moins de 5% de toutes les stone-lines à débris de roche.

Considérées par secteur, les observations les plus intéressantes sur la composition des stone-lines à débris de roche ont été effectuées dans le secteur de Lubumbashi où, bien que le substratum soit à plus de 70% constitué de roches schisteuses, les débris de schiste ne constituent les matériaux principaux des stone-lines que dans 10% des cas. Ceci s'explique notamment par l'intensité très poussée de l'altération des schistes, du reste très tendres ne laissant subsister aucun élément résiduel en dehors des sites favorables où les débris de roche ont pu être indurés ou encore localement aux emplacements des filons de quartz par ailleurs très abondants dans le secteur de Lubumbashi, comme l'indique la proportion élevée des stone-lines à fragments de quartz (environ 56% des stone-lines de cette catégorie).

Dans les autres secteurs, la distribution parmi les natures pétrographiques des roches est plutôt relativement équilibrée, traduisant la relation qui existe souvent entre la stone-line et le substratum en place.

### Organisation interne des matériaux

Par l'organisation interne, il faut entendre la manière dont les matériaux sont disposés au sein des stone-lines. En effet, suivant l'importance et la fréquence des remaniements subis au cours des temps ainsi qu'en fonction des apports extérieurs plus ou moins lointains, des différences peuvent apparaître dans la disposition des matériaux des stone-lines. On peut distinguer trois dispositions particulières :

- les matériaux disposés en une couche plus ou moins épaisse ;
- les matériaux disposés en une simple ligne ou en couche mince de moins de 0.5 m ;
- les matériaux disposés en couches superposées d'épaisseur variable.

Les stone-lines d'épaisseur inférieure à 0,5 m sont envisagées dans le même groupe que celles en simple ligne de matériaux du fait de la méthode d'observation, les matériaux retirés de chaque puits de prospection étant disposés en un seul tas pour chaque mètre de profondeur. De cette manière, la disposition en simple ligne des matériaux, qui seule devrait s'appeler stone-line selon le sens initial donné à ce terme par les auteurs anglo-saxons, n'a pu être distinguée.

Les stone-lines d'épaisseur supérieure à 0,5 m ont une disposition des matériaux en couche unique ou en couches superposées d'épaisseur variable. Nous considérons que la disposition en couche unique est homogène quand tous les matériaux ont une même forme, plus ou moins arrondie ou relativement anguleuse pour une même composition. La disposition est hétérogène quand les matériaux constitutifs sont arrondis et anguleux et/ou de composition différente.

Les données d'épaisseur d'où sont déduites les différentes dispositions de matériaux peuvent être résumées de la manière suivante (tableau 3). Pour l'ensemble de la région, les épaisseurs des stone-lines varient dans un intervalle de quelques centimètres à une vingtaine de mètres. Cette dernière valeur a été observée dans le secteur de Lubumbashi. Il s'agit probablement d'un dépôt de terrasse alimenté par des matériaux provenant du Grand Conglomérat. Aussi surprenant que cela puisse paraître pour qui observe les fossés des routes, les épaisseurs des stone-lines ne sont inférieures à 0,5 m que dans 12% des cas. C'est dans le secteur de Lubumbashi et de Shangulowe que les stone-lines sont les moins épaisses (35 et 25% des stone-lines ne dépassent pas 0,5 m). Dans presque tous les secteurs, ce sont les stone-lines à fragments de quartz qui sont généralement les moins épaisses, environ 40% des stone-lines de cette catégorie ont une épaisseur inférieure à 0,5 m. Cette proportion est de 10, 2 et 1% respectivement pour les stone-lines à matériaux mélangés, à débris de roche et à éléments roulés.

Il découle de ces observations que la disposition des matériaux en une couche est la plus courante. Elle est le plus souvent homogène, bien qu'il ne soit pas rare de trouver des stone-lines en couche unique ou en couches superposées qui soient hétérogènes. Dans ce cas, les matériaux au sein de la couche peuvent s'organiser soit en niveaux plus ou moins stratifiés, soit en un seul niveau où les matériaux sont mélangés intimement.

Il faut mettre l'accent sur l'organisation interne dans les stone-lines en couche unique homogène à débris de roche ou à grenailles latéritiques. Dans ces deux cas, il existe un gradient d'induration des matériaux de bas en haut. C'est ainsi, par exemple, que pour les stone-lines à débris de roche qui sont du reste les plus répandues dans la région, on observe à la base de la couche la présence des débris tendres, fraîchement détachés de la roche en place. Dans les secteurs où les filons de quartz sont présents, cette partie de la couche est marquée par le fauchage de filons de quartz vers le bas. En montant, l'induration des matériaux augmente ainsi que leur arrondi, de telle sorte que dans la partie supérieure les débris très indurés perdent complètement leur aspect extérieur pour ressembler à des concrétions subarrondies

**Tableau 3**

Valeurs moyennes (1) et intervalles de variation des épaisseurs (2) et proportions des épaisseurs inférieures à 0.5 m (3) par secteur et par type de composition

TYPE DE MATÉRIAUX DES STONE-LINES																					
Secteur	Matériaux mélangés			Débris			Fragments de quartz			Grenaille latéritique			Matériaux roulés			Cuirasse latéritique			Ensemble p. secteur		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MIDIASHI	4.6	0.3-16	0	1.5	1-4	0	1.8	1-4	0	-*	-	-	2.0	0.2-6	0.2	4.3	4-5	0	2.3	0.2-16	0.2
KAMWALI	3.1	1-10	0	1.7	1-4	0	-	-	-	1.1	0.5-2	0.2	-	-	-	2.0	4-5	0	2.4	0.5-10	0.2
LUISHIA	3.9	1-15	0	2.4	1-7	0	2.1	1-3	0	3.6	2-5	0	1.8	1-5	0	2.9	0.3-7	0.4	3.1	0.3-15	0.4
LUBUMBASHI	2.4	0.05-18	3	-	-	-	0.7	0.05-20	4	1.3	0.1-2.5	0.7	2.8	0.1-20	0.9	2.7	1-6	0	2.0	0.05-20	9.3
SHANGULOWE	1.3	0.2-19	1.4	1.5	0.5-2	0.2	0.4*	0.1-0.7*	0.02*	-	-	-	-	-	-	1.5*	1-2*	0*	1.7	0.1-19	1.8
RÉGION	3.1	0.05-19	4.4	1.9	0.5-7	0.2	1.0	0.05-20	4.2	2.0	0.1-5	0.9	2.2	0.1-20	1.1	2.8	0.3-7	0.4	2.2	0.05-20	11.7

**Tableau 4**

Valeurs moyennes (1), intervalles de variation des profondeurs (2), et proportions des stone-lines de profondeur inférieure ou égale à 1 m (3), par secteur et par type de composition

MATÉRIAUX DES STONE-LINES																			
Secteur	Débris			Mélange			Fragments de quartz			Grenailles lat.			Éléments roulés			Cuirasse lat.			Comparaison des moyennes (tests)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
MIDIASHI	2.2	0.1-7	45.1	2.5	0.1-5	33.3	2.2	0-5	42.9	2.8	1-5	25.0	2.0	0.1-4	40.0	4.9	0.5-8	15.4	différence hautement significative
KAMWALI	3.6	1-10	2.4	4.4	2-9	0	3.5	2-5	0	4.0	0-7	12.5	4.0*	2-6	0*	3.5	0-11	33.3	pas de différence significative
LUISHIA	4.1	1-17	21.0	3.9	1-14	17.5	12.2*	1-20	100	5.4	2-20	0	4.0	2-10	0	6.6	1-13	15.4	pas de différence significative
LUBUMBASHI	1.5	0-1.5	0	2.4	0.2-13	38.2	1.2	0.3-3	58.9	1.3	0-4	57.1	2.8	0-20	36.4	2.0	0-2	81.28	différence probablement significative au seuil de 5%
SHANGULOWE	1.5	0-75	51.4	3.6	0.5-1	27.8	0.4*	0-0.2	100	-	-	-	0.5	-	-	7.1	0.3-12	33.3	-
RÉGION	2.8	0-17	31.2	3.2	0.1-13	25.2	1.6	0-2	51.9	2.6	0-20	34.2	2.8	0-20	30.8	4.2	0-13	32.3	différence hautement significative

\* = moins de 3 données.

de gravillons latéritiques. Quant aux grenailles, le schéma est à peu près analogue. À la base, des concrétions tendres aux formes contournées sont encore emballées dans une matrice fine abondante. Au fur et à mesure que l'on monte, l'induration augmente autant que diminue la matrice fine. Vers la partie supérieure, il n'y a plus que des concrétions très dures, des gravillons indurés subarrondis, quelquefois entourés d'un enduit. Les grains sont plus jointifs, la matrice fine étant devenue moins abondante. ALEXANDRE (1978) désigne par grenaille externe cette partie plus indurée et par grenaille interne la partie des matériaux plus tendres.

Dans l'organisation des matériaux en couche unique hétérogène, les débris de roche en place, lorsqu'ils sont accompagnés d'autres éléments occupent toujours la partie inférieure de la couche. C'est la même disposition qui prédomine dans les mélanges où interviennent les fragments de quartz.

En tenant compte de toutes ces observations sur la nature des matériaux et sur leur organisation interne au sein des stone-lines étudiées, on en arrive à conclure que les matériaux se composent d'une part très importante de produits apparentés au substratum.

### Profondeur des stone-lines

La profondeur à laquelle les stone-lines sont enfouies sous la couverture d'éléments fins a été considérée respectivement par rapport aux types de composition des stone-lines (tableau 4), à la nature pétrographique du substratum (tableau 5) et à la position topographique du site (fig. 3).

**Tableau 5**

*Valeurs moyennes (1), intervalles de variation des profondeurs (2)  
et proportions des stone-lines se trouvant à une profondeur inférieure ou égale à 1 m (3),  
par secteur et par nature pétrographique du substratum*

Secteur	Roches schisteuses et schisto- dolomitiques (SD)			Conglomérat et tillite			Roches gréseuses ou silicifiées		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
MIDIASHI	2.5	0.5-7	30.0	3.0	0-5	22.0	2.4	0-5	30.0
KAMWALI	3.6	1-9	22.0	2.9	1-5	9.1	3.7	1-6	0.0
LUISHIA	4.4	1-15	22.4	4.5	1-14	9.5	4.7	1-9	14.3
LUBUMBASHI	1.6	0-7	51.0	-	0.5-0.8*	100.0	1.1	0.3-7	40.0
SHANGULOWE	1.3	0-7	61.0	-	-	0	3.2	0-10	15.0
RÉGION	2.6	0-15	38.0	3.8	0-14	13.0	3.4	0-10	25.0

\* = moins de 3 données.

Le rapport avec les types de composition de stone-lines peut être déduit des données du tableau 4. La profondeur des stone-lines pour l'ensemble de la région étudiée varie en moyenne entre 1,5 et 5 m environ. Les valeurs extrêmes sont de 0 m pour les minima et sont comprises entre 13 et 20 m pour les maxima. La proportion de stone-lines qui sont à une profondeur inférieure ou égale à 1 m oscille dans un intervalle de 25 à 50% approximativement. Les profondeurs moyennes les plus faibles (1,2 à 3,5 m) se rencontrent surtout parmi les stone-lines à fragments de quartz, tandis que les valeurs moyennes les plus élevées affectent surtout les stone-lines à cuirasse latéritique (moyennes comprises entre 2 et 7 m). La proportion des stone-lines se trouvant à une grande profondeur, plus de 5 m, est cependant faible. Elle est de l'ordre de 8 à 27% suivant les types de stone-lines.

Si on considère les stone-lines de composition différente à l'intérieur d'un même secteur, on constate que la différence des profondeurs moyennes n'est réellement significative que pour le secteur de Midiashi et, dans une moindre mesure, celui de Lubumbashi au seuil de 5% (Tab. 4), deux secteurs où le modelé d'aplanissement est le mieux développé et où les roches schisteuses dominent dans le substratum. Le secteur de Shanguluwe excepté, à cause notamment des données incomplètes non prises en considération, le rapport des valeurs extrêmes des moyennes des profondeurs est à peine de 1 à 2. Cette différence est par contre hautement significative si on prend en compte les valeurs extrêmes, secteur par secteur. Le rapport peut alors être de l'ordre de 1 à 4.

Pour ce qui est des relations avec la nature pétrographique du substratum (Tab. 5), les profondeurs moyennes des stone-lines de la région considérée suivant la nature pétrographique varient peu. Elles sont comprises entre 2,6 et 3,8 m seulement. Les valeurs extrêmes oscillent autour de 0 m pour les minima et entre 10 et 15 m pour les maxima. La proportion des stone-lines se trouvant à une profondeur de 1 m varie de 13 à 38%. En général, c'est sur les roches schisteuses et schisto-dolomitiques que les profondeurs moyennes sont les plus faibles (2,6 m), tandis qu'elles sont les plus élevées sur les roches gréseuses, dolomitiques ou silicifiées (3,8 m).

Les profondeurs moyennes par secteur diffèrent entre elles de façon significative que si on les considère selon la nature du substratum au sein d'un même secteur (Tab. 5). En effet, le rapport des valeurs moyennes extrêmes est ici de l'ordre de 1 à 3 par exemple pour les roches schisteuses et de 1 à 5 environ pour les roches gréseuses, dolomitiques ou silicifiées, alors qu'au sein du même secteur, ce rapport est à peine de 1 à 2 pour les différents types de roches.

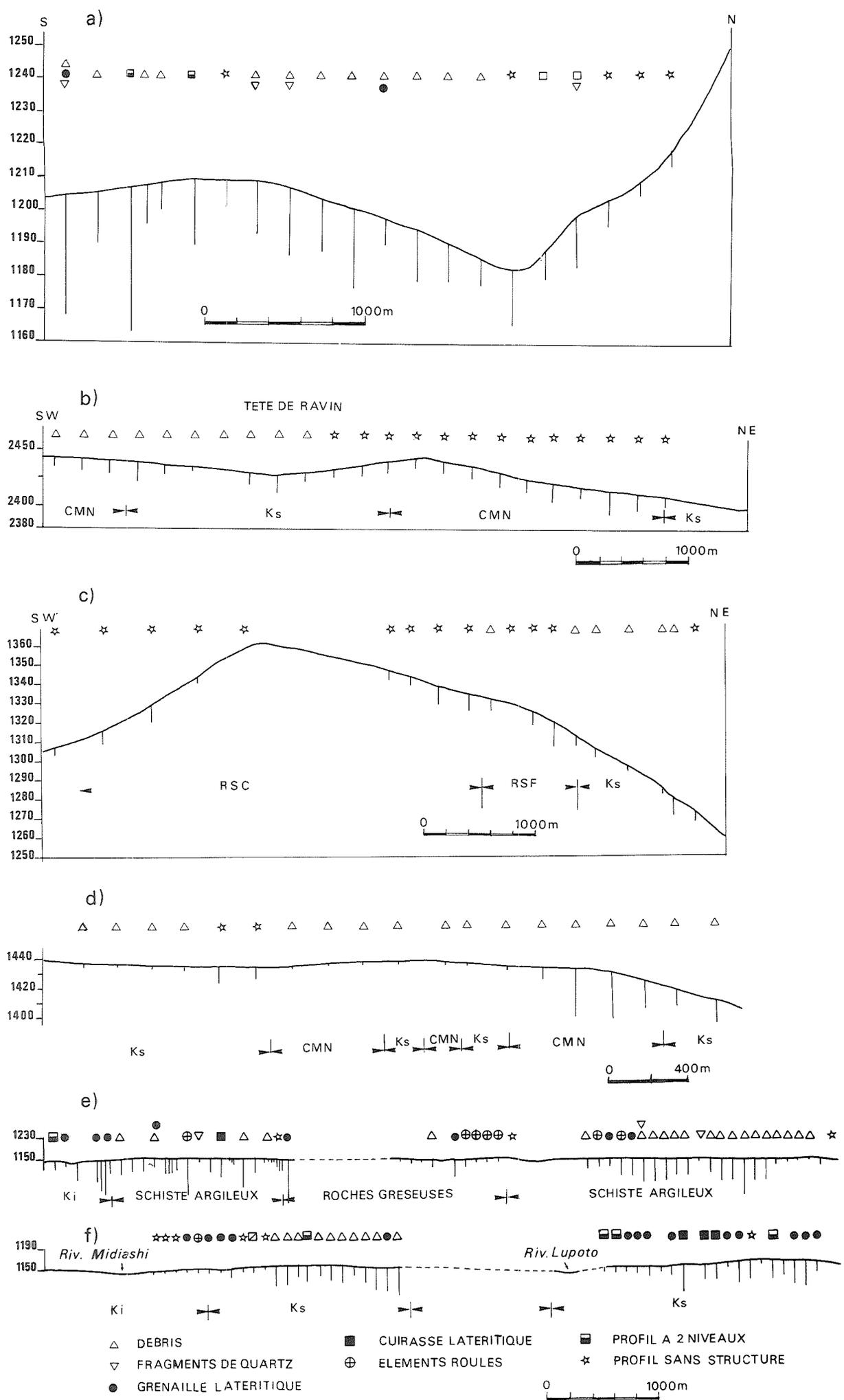


Fig. 3. — Coupes topographiques à travers 3 secteurs : Kamwali (a), Shanguluwe (b, c, d) et Midiashi (e, f).

Le rapport existant entre la profondeur des stone-lines et la position topographique se dégage de l'observation des coupes topographiques (Fig. 3) et des cartes de localisation des puits des secteurs prospectés. Il apparaît que dans l'ensemble, les stone-lines ont tendance à être plus profondes sur les surfaces à faible pente et éventuellement dans les fonds topographiques (vallées ou dépressions) que sur les reliefs plus élevés (sommets des collines) ou sur les sections des versants en pente forte. La différence de profondeur d'un site à un autre est, pour une même position topographique, bien plus grande que pour des sites localisés dans des positions topographiques différentes (Fig. 3b, d, e, f). Les sommets et les sections en pente forte où la roche en place affleure sont, en général, occupés par des profils sans structure ou plus souvent par des profils à deux niveaux où l'épaisseur de la couverture fine (colluvion) peut dépasser plus de 5 m. Sur les sections de même allure topographique d'un même secteur, les variations de profondeur peuvent être très prononcées pour les stone-lines de même composition ou pour des stone-lines de composition différente. Le rapport des valeurs moyennes extrêmes peut atteindre dans ce cas plus de 1 à 3. Enfin, les profondeurs sur une même formation géologique peuvent varier de façon aussi sinon plus importante que lors du passage d'une formation à l'autre.

En se fondant de la sorte sur les considérations développées à propos des profondeurs de stone-lines en rapport avec les différents aspects décrits on peut constater qu'aucun facteur pris isolément n'influence réellement la profondeur des stone-lines. Il semble qu'il faille considérer la combinaison de leur action à la lumière de l'ensemble des conditions géomorphologiques qui ont présidé à leur mise en place et à leur conservation et que traduisent les nuances des modelés des différents secteurs.

### Répartition spatiale des stone-lines

L'influence de la topographie dans la distribution des profils à trois ou deux niveaux et sans structure a déjà été soulignée (Tab. 1). Il s'agit maintenant de voir de quelle manière les stone-lines de différente composition de matériaux sont réparties dans l'espace. Il est bon de rappeler que la diversité de composition des stone-lines selon les différents secteurs variait également en fonction des nuances observées dans l'allure topographique du site. Il y a des secteurs avec une composition relativement homogène, ceux où la topographie est plus ou moins disséquée comme Shangulowe où plus de 90% des stone-lines ne sont constituées que de débris de roche et des secteurs où la diversité est grande comme Lubumbashi où les surfaces

d'aplanissement sont plus développées. Ce sont d'ailleurs des observations effectuées dans ce dernier secteur qui vont servir à illustrer la répartition spatiale des stone-lines envisagées par rapport aux axes hydrographiques et par rapport à l'étagement des surfaces d'aplanissement d'âges différents.

Sur les anciennes surfaces topographiques les plus élevées et les plus éloignées des axes hydrographiques, les stone-lines sont essentiellement composées de fragments de cuirasses et de gravillons latéritiques, souvent entourés d'un enduit de couleur sombre ou encore de concrétions très indurées de couleur sombre sans enduit. Les fragments de cuirasse peuvent présenter superficiellement un enduit suturé, indice d'une formation ancienne, probablement tertiaire alors que les climats étaient assez différents des actuels.

Il n'y a nul doute que les gravillons et les concrétions proviennent du démantèlement de cuirasses préexistantes auxquelles viennent souvent se raccorder les stone-lines. Les débris se retrouvent dans la grenaille externe, mais il est rare que leur enduit porte des traces de sutures étant donné la position qu'ils occupaient au sein de la cuirasse au moment de la formation des sutures.

Sur les surfaces situées en contrebas des surfaces anciennes, vraisemblablement du début du Quaternaire, les stone-lines ne sont plus que rarement formées de fragments de cuirasse et de gravillons très indurés. Leurs matériaux sont essentiellement formés de concrétions de petite taille et de couleur brun clair, localement mélangés de fragments de quartz anguleux.

Plus bas, sur les versants et dans les fonds de vallée actuels, les stone-lines sont composées de mélange d'éléments roulés, de gravillons latéritiques et de fragments de quartz. Ces matériaux peuvent être disposés, soit en couche unique (homogène) d'épaisseur variable, soit plus souvent en couches superposées constituées à la base d'un niveau de matériaux roulés surmonté d'un niveau de grenailles latéritiques mélangées à des fragments de quartz.

Dans les autres secteurs, la répartition est, d'une manière générale, relativement analogue à celle du secteur de Lubumbashi (voir coupe dans le secteur de Midiashi, Fig. 3e, f). En effet, on observe souvent que les stone-lines à cuirasse latéritique par exemple, même sans enduit, ont généralement tendance à occuper, sur les interfluves, les positions les plus éloignées des axes hydrographiques. Ceci résulte en partie du fait que ces axes hydrographiques incisent des surfaces fin Tertiaire ou Quaternaire qui sont généralement moins affectées par le cuirassement comme l'a souligné ALEXANDRE-PYRE (1971) pour le plateau des Bianco. Les stone-lines à

grenailles latéritiques occupent très souvent les marges ou les fonds de dépression où les concrétions et les gravillons latéritiques peuvent être transportés par ruissellement. Ce serait par ailleurs les sites les plus favorables à la formation in situ de la grenaille sous les conditions climatiques assez semblables à celles qui règnent actuellement (ALEXANDRE 1978).

Dans les vallées, les matériaux roulés, généralement mis en place par les cours d'eau, se raccordent du côté des versants aux gravillons latéritiques chargés par endroits de fragments de quartz (fig. 3 e).

### Discussion

En ce qui concerne la composition des matériaux de la stone-line, les éléments anguleux ont été opposés aux éléments roulés qui permettent de supputer une origine plus ou moins lointaine des matériaux. Cette inférence appelle cependant beaucoup de prudence car certains matériaux acquièrent sur place un certain arrondi grâce à l'altération souvent combinée avec une induration par les sels de fer, comme c'est le cas avec les gravillons latéritiques et certains débris de roche. Quant aux cailloux roulés, la présence au Shaba de nombreux affleurements de couches conglomératiques ou tillitiques doit inciter à la prudence. Toutefois, le fait que ce type de matériaux soit souvent localisé à proximité des axes hydrographiques et quelquefois à une certaine distance de ces affleurements ne devrait laisser subsister aucun doute quant à leur remaniement par les cours d'eau.

Dans la région de Lubumbashi, par exemple, la proportion élevée des stone-lines à matériaux roulés est à mettre en rapport avec la présence des deux rivières importantes, la Kafubu et la Lubumbashi qui ont pris en charge les matériaux provenant des conglomérats altérés affleurant dans leur bassin.

Si l'on excepte le secteur de Lubumbashi, les débris de roche constituent le principal matériau des stone-lines. Une telle situation est, à première vue, en contradiction avec la grande altérabilité des roches schisteuses qui dominent dans le substratum. Elle s'explique cependant par l'imprégnation préalable par les oxydes de fer qui a fréquemment affecté les premiers centimètres du substratum. Ces débris de schiste en plaquette attestent d'un climat plus sec moins favorable à l'altération (ALEXANDRE-PYRE 1971).

La grenaille latéritique est donc formée essentiellement de trois types d'éléments ferrugineux : des concrétions assez équidimensionnelles apparues dans un milieu relativement homogène, des débris de cuirasse ainsi que des débris indurés de roche du substratum. Ces derniers confèrent une certaine autochtonie à la formation.

D'autre part, la grenaille est fréquemment localisée sur les rebords des vallées qui, avant encaissement, constituaient des dépressions humides dont les marges constituaient le site favorable à la formation de ces concrétions latéritiques car le balancement de la nappe y atteint une amplitude suffisante à une profondeur qui permet encore la dessiccation (ALEXANDRE 1978).

Ces considérations n'excluent évidemment pas des apports provenant par exemple du démantèlement des cuirasses, mais ceux-ci, comme le souligne GRANDIN (1976), sont nécessairement de courte distance. Au Shaba, les fragments de cuirasse ne se retrouvent que dans les stone-lines associées à des surfaces d'érosion anciennes, la plupart du temps tertiaires (ALEXANDRE-PYRE 1971).

Paradoxalement, les débris de quartz s'observent principalement dans les secteurs où les stone-lines comportent très peu de débris de roche (Lubumbashi et Midiashi). Ceci est lié, comme on l'a vu, à la proportion des roches schisteuses dans le substratum dans lequel les filons de quartz sont les seuls produits résistant à l'altération. La part des stone-lines dont les matériaux sont étrangers au substratum en place et qui résultent essentiellement d'apports plus ou moins lointains est, en fin de compte, relativement faible et ne dépasse pas les 15%.

En ce qui concerne les stone-lines dont l'épaisseur dépasse les cinquante centimètres, le problème est de savoir par quel(s) processus les matériaux se sont accumulés. Lorsque la position topographique est ou a été favorable, des fonds topographiques par exemple, les apports par ruissellement peuvent être évoqués avec toutefois des conditions climatiques plus arides que les actuelles, plutôt favorables au transport d'éléments fins. Le mécanisme a pu se produire même avec un matériel dérivant du substratum, un léger déplacement étant toujours possible. Il existe cependant des cas où ce déplacement est pratiquement nul et où la stone-line est résiduelle au sens strict. Plusieurs hypothèses ont certes déjà été formulées. DE DAPPER (1978) les a résumées à propos de la stone-line du plateau de la Manika. Pour notre part, l'accumulation sur place de matériaux résiduels peut être le résultat de la formation de plusieurs stone-lines qui se sont succédé au cours du temps à la suite d'une alternance de conditions tantôt favorables à l'accumulation de la couverture fine et à l'altération de la roche en place, tantôt favorables à l'ablation de la couverture. À chaque cycle, les produits résiduels de l'érosion des niveaux superficiels s'additionnent. Dans ce cas, la couche de couverture est éliminée et la nappe de la stone-line se trouve dénudée. Ces produits grossiers protégeraient le substratum sous-jacent contre toute nouvelle érosion si les produits fins à éliminer n'étaient remontés en surface par des animaux

fouisseurs tels que les termites, ce qui permet le colmatage des interstices entre les cailloux et le départ des matériaux fins superflus. La stone-line s'épaissit donc par le bas et dépend alors de la présence d'éléments grossiers dans le niveau sous-jacent.

Cette explication s'accommode bien, par ailleurs, de l'existence reconnue dans la région de sols polygéniques (SYS 1961, ALONI 1978).

D'autre part, le gradient d'induration observé dans les éléments de la stone-line avec quelquefois présence d'enduit ferrugineux milite en faveur de séjours réguliers à l'air libre de la partie supérieure de ces stone-lines.

Les stone-lines en couche unique sont quelquefois composées d'éléments roulés et anguleux, mélangés de façon intime. À l'exception du cas où l'arrondi est hérité d'un substratum conglomératique, le mélange doit résulter de mécanismes parmi lesquels prédomine la bioturbation exercée par les termites qui remontent les matériaux fins provenant de la matrice fine des sédiments ainsi que du bed-rock altéré sous le niveau grossier.

La profondeur à laquelle se trouve le sommet de la stone-line est, dans l'ensemble, plus importante dans les sites favorables soit à l'accumulation soit à la progression rapide de l'altération. Dans l'un et l'autre cas, les profondeurs se trouvent sous la dépendance de la topographie du front d'altération. Les variations importantes le long d'une même section doivent être mises en relation avec la nature des bancs du substratum.

Le fait plus important mis en évidence par l'analyse des profondeurs est que la disparité est beaucoup plus grande d'un secteur à l'autre qu'au sein d'un même secteur. Comme la composition pétrographique du substratum est peu différente, il semble qu'il faille faire appel à l'histoire géomorphologique, depuis des temps reculés, quelquefois le Tertiaire, comme il a été vu plus haut.

La dissection des surfaces d'érosion ancienne laisse subsister sur les interfluves des stone-lines dont la première apparition est donc assez ancienne. Toutefois, lorsque la reprise d'érosion est assez vigoureuse (Kamwali), bien que l'altération soit encore assez profonde et puisse ainsi libérer plus de produits grossiers résiduels, ces derniers n'ont pas pu se maintenir sur les pentes fortes pour donner ultérieurement des stone-lines.

## REMERCIEMENTS

Le Service géologique de la Gécamines a mis à la disposition de l'un des auteurs les cartes topographiques sur lesquelles figurait l'emplacement des puits de prospection. La description de certains profils a également été mise à notre

disposition et des visites sur le terrain ont été organisées par ce Service. Nous lui en exprimons notre gratitude.

### BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE, J., 1978. Les stades de la formation des cuirasses latéritiques en Haut Shaba et leur signification géomorphologique. — *Trav. et Doc. Géogr. trop., CEGET*, **33** : 133-149.
- ALEXANDRE, J., 1986. Critère pour une datation relative des cuirasses latéritiques. *Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, nouv. sér., **30** (1984-2) : 159-167.
- ALEXANDRE, J. & ALEXANDRE, S., 1987. La reconstitution à l'aide des cuirasses latéritiques de l'histoire géomorphologique du Haut Shaba. — *Z. Geomorph.*, N.F., Suppl. — Bd. **64** : 119-131.
- ALEXANDRE-PYRE, S. 1971. Le plateau des Bianco (Katanga). Géologie et géomorphologie. — *Mém. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, Cl. Sci. nat. et méd., nouv. sér. in-8°, **18** (3), 151 pp.
- ALONI, K., 1975. L'influence de l'activité des termites sur la constitution des terrains superficiels dans une région de savane (Shaba méridional). — Thèse de doctorat, Fac. Sciences agronomiques de l'État, Gembloux, t. **2**, 536 pp.
- DE DAPPER, M., 1978. Couverture limono-sableuse, stone-line, indurations ferrugineuses et action des termites sur le plateau de la Manika (Kolwezi, Shaba, Zaïre). — *Geo-Eco-Trop.*, **2** (2) : 265-278.
- GRANDIN, G., 1976. Aplatissements cuirassés et enrichissement des gisements de manganèse dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest. — *Mém. ORSTOM*, **82**, 272 pp.
- SYS, C., 1961. Het verband tussen morfologie en genetische opbouw van het bodem-profiel in Hoge Katanga. — Thèse de doctorat, Rijksuniversiteit Gent, 234 pp.
- VOGT, J., 1966. Terrain d'altération et de recouvrement en zone intertropicale : le complexe de la stone-line : mise au point. — *Bull. du Bureau Rech. géol. et minières*, n° 4 : 1-51.