

STONE-LINES ET PROSPECTIONS EN AFRIQUE INTERTROPICALE

PAR

Paul RAUCQ *

RÉSUMÉ. — Les stone-lines soulignant les surfaces subhorizontales se prêtent mieux que celles des versants à analyse et interprétation. Plusieurs types en sont étudiés au Zaïre et au Mali, notamment dans des gisements d'étain ou d'or, ou encore dans des régions à alimenter en eau. Leurs constituants (souvent deux à quatre couches distinctes) sont décrits ; leurs relations avec les saprolites sous-jacents et les formations superficielles (sils éoliens, altérites argilo-ferrugineuses) sont définies. Leur place dans l'évolution du relief est précisée. Leur signification et leur importance en recherche minière et hydrogéologique sont soulignées.

SAMENVATTING. — *Stone-lines en prospectie in intertropisch Afrika.* — De stone-lines onder een subhorizontaal oppervlak lenen zich beter tot analyse en interpretatie dan deze onder hellingen. Verschillende types ervan worden onderzocht in Zaïre en Mali, bijzonder in tin- en goudafzettingen, maar ook in gebieden waar naar grondwater gezocht wordt. Hun bestanddelen (vaak twee tot vier verschillende lagen) worden beschreven ; hun verhouding met onderliggende saprolieten en met oppervlakkige formaties (eolische silten, klei- en ijzerhoudende alterieten) worden bepaald. Hun plaats in de geomorfologische evolutie wordt omschreven. De aandacht wordt gevestigd op hun betekenis en hun belang in mijn- en waterprospectie.

SUMMARY. — *Stone-lines and exploration in tropical Africa.* — Stone-lines underlying subhorizontal surfaces are better suited to analysis and interpretation than those under slopes. Several types of stone-lines in Zaire and Mali have been investigated, especially for tin or gold deposits, but also in areas to be supplied with water. Their components (often two to four distinct layers) are described ; their relationships with underlying saprolites and loose overburdens (eolian silts, clayey-ferruginous soils) are defined. Their position in the morphologic evolution is specified. Their significance for mineral and groundwater exploration is emphasized.

La présente note développe divers exemples de stone-lines, qui ont en commun d'avoir été observés au cours d'opérations de prospection (minière

* Rue Marie-Thérèse 37, B-1040 Bruxelles (Belgique).

surtout, mais aussi hydrogéologique) dans des circonstances très diverses, quoique tous soient situés dans les régions intertropicales d'Afrique.

Le terme *stone-layer* aurait souvent été préférable, dans les cas décrits, à celui de *stone-line*, qui traduit ce qui se voit dans le talus d'une route ou dans une tranchée de chemin de fer ; en prospection minière détritique, c'est le caractère de *couche* plutôt que celui de *trace* qui importe. Pour respecter l'usage, j'évite néanmoins l'expression *stone-layer*, sauf pour désigner des couches complexes.

1. Observations faites au Maniema (Zaire)

Les trois cas retenus ont été observés au cours de prospections de gisements de cassitérite et d'or (associés ou non) dans le Maniema forestier, de 1945 à 1951 et en 1974-75. Les surfaces examinées se trouvent principalement dans les zones de Pangî, Lubutu, Punia, Kindu, Shabunda et Mwenga (Fig. 1).

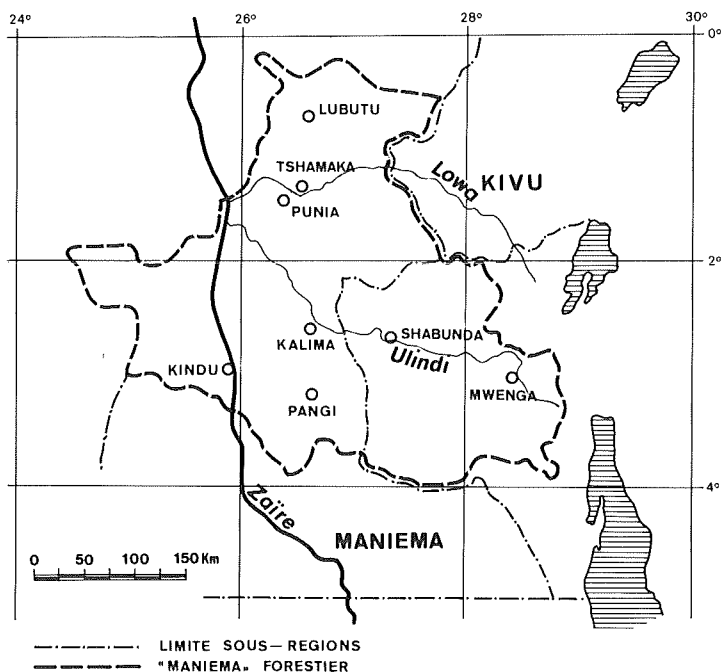


Fig. 1. — Maniema. Plan de situation.

Les formations de couverture se répartissent entre Série de la Lukuga (Permo-Trias) et Lindien supérieur (Infracambrien) ; elles s'étendent largement de part et d'autre des grands affluents du Zaïre. Le soubassement, maintenant daté du Rusizien (plus de 2100 MA) ou même d'avant, comporte des roches plus ou moins métamorphiques avec intrusions granitiques génératrices de minéralisations métallifères ; le Burundien, plus récent que 2100 MA, s'est développé vers le nord-est et le sud-est. Les granites à étain sont d'âge burundien ; la minéralisation aurifère semble plus ancienne.

Toute la région est gratifiée d'un climat équatorial typique : plus de 1600 mm de pluies par an, pas plus de deux mois «secs» (50 mm au maximum), températures moyennes de 23° à 25,5°, avec variations annuelles minimales et variations diurnes assez considérables.

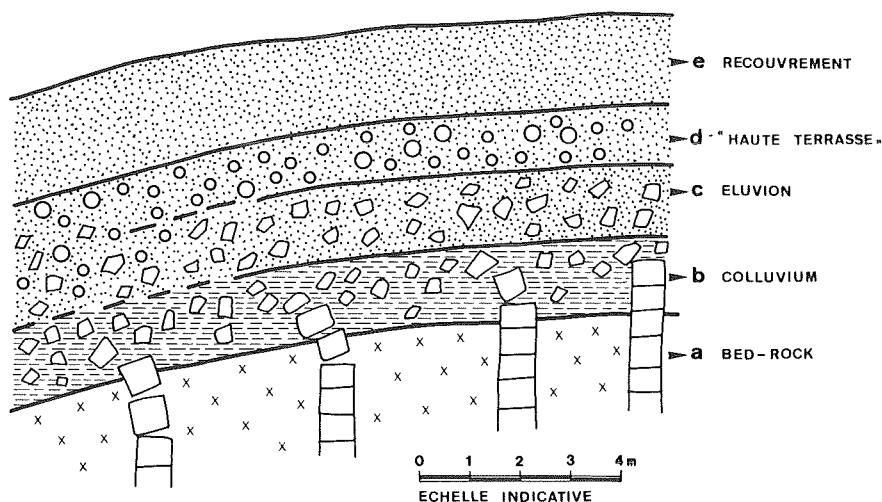


Fig. 2. — Gîte complexe du Maniema. Profil schématique.

Les sols sont généralement composés d'une argile latéritique à pisolithes disséminés, avec humus très peu développé. Toute la surface appartient au domaine de la forêt ombrophile dont des étendues considérables sont encore intactes malgré les agressions.

Le relief du Maniema forestier est réglé par un niveau de base matérialisé par le cours du fleuve (env. 500 m) et la dorsale Zaïre-Nil (2000 à 3000 m) et par les grandes vallées qui descendent de celle-ci. Entre ces vallées se dressent de nombreux massifs montagneux (plus de 1000 m), mais les sommets sont presque toujours plats, de même que de nombreuses crêtes

d'interfluves. L'ensemble donne une impression assez confuse, en relation avec la constitution géologique ; retenons-en toutefois les surfaces subhorizontales, qui se raccordent souvent sans peine de proche en proche, malgré la forte proportion des sols en pentes ; les trois cas envisagés ici concernent de telles surfaces.

1.1. APLANISSEMENTS SUPÉRIEURS ET TERRASSES

Les massifs montagneux et beaucoup de reliefs plus modestes ont généralement une signification structurale et correspondent à des ensembles rocheux plus résistants, quoique de natures fort diverses. Les plus élevés sont souvent des masses granitiques étendues, parfois des roches cristallines basiques (diorites surtout) ; on relève des structures anticlinales dans des quartzites ou des schistes cristallins.

Des réseaux filoniens constituent aussi l'armature de collines ou de crêtes bien individualisées dans le paysage ; ces « carcasses » peuvent concerner des pointements granitiques (apophyses de batholites), mais on en trouve dans des ensembles métasédimentaires (dont l'allure en dôme éventuelle suggère souvent des pointements granitiques cachés). Inutile de rappeler que les ensembles filoniens, en région stannifère, sont souvent générateurs de minéralisations utiles, à ce point que, au Maniema forestier, toute zone en relief mérite un examen axé sur leur recherche : cela nous a souvent servi de guide initial, à N. Varlamoff comme à moi-même et à d'autres ; mais il s'agit habituellement de reliefs secondaires par rapport aux montagnes les plus élevées.

Les vastes plages lukugiennes et lindiennes sont en principe en contrebas des surfaces en soubassement. Mais l'érosion peut y sculpter un modelé très découpé, d'allure dendritique, avec des dénivellations atteignant jusqu'à 100 ou 200 m, mais toujours avec des crêtes plates.

Faisant abstraction de la nature des roches, on constate (RAUCQ 1952) que les surfaces planes se répartissent en deux groupes, certaines en relation avec les grandes rivières, d'autres sans lien évident avec elles, jusqu'aux sommets les plus élevés, marquant les interfluves entre les grands axes hydrographiques. Dans la région de Punia, par exemple, j'ai repéré ainsi trois terrasses et au moins deux niveaux de replats, respectivement vers 15-20-40-140 et 290 m au-dessus de la Lowa (celle-ci à environ 500 m) ; dans le bloc Kalima, outre les terrasses, il existe au moins trois niveaux élevés principaux, respectivement à 840, 1020 et 1200 m ; plus à l'est s'observe une disposition similaire, avec sans doute un décalage vers le haut rendant malaisé tout raccord indiscutable à grande distance.

Mais ce qui importe, c'est que toutes les surfaces où je dispose de données sont soulignées de cailloux roulés où prédominent les galets de quartz, même celles qu'il serait hasardeux de désigner sous le nom de terrasses ; il peut s'y ajouter des débris rocheux divers et des pisolithes ou débris latéritiques, qui n'enlèvent pas aux stone-lines une parenté de composition ou de mode de gisement. Ce qui les distingue, c'est leur épaisseur (sans doute fonction de leur alimentation en matériaux) et l'existence éventuelle de couches sous-jacentes de constitution différente (voir 1.2.). Je ne puis affirmer qu'elles existent partout, car de nombreux endroits, présumés non minéralisés, n'ont pas été reconnus par des puits de prospection, mais d'autres accidents (pièges à gibier sur les crêtes, ravinements, terrassements) en établissent la fréquence.

1.2. GÎTES DÉTRITIQUES COMPLEXES

Ce chapitre traite principalement de deux cas de dépôts secondaires de cassitérite de l'est du Zaïre, présentant une complexité, et d'ailleurs une fréquence, qui n'a pas été signalée jusqu'ici. L'ubiquité (ou presque) d'une stone-line simple à galets roulés signalée ci-dessus (1.1.) sur des surfaces planes étagées permet une approche plus aisée des cas plus complexes.

1.2.1. *Éluvions minéralisées*

Je décrirai d'emblée la coupe type la plus complète, observée (RAUCQ 1951) sur de vastes surfaces dans le polygone Tshamaka (Symétain-Nord) et dans plusieurs gisements du bloc Kalima (Symétain-Sud) ; je les ai souvent appelées hautes-terrasses malgré le caractère éluvial d'une partie du dépôt et le rôle d'un substrat filonien dans le développement des diverses composantes de la stone-layer et dans sa minéralisation.

On relève, de haut en bas (Fig. 2),

- e. un recouvrement limoneux généralement grossier (grains de quartz abondants), épais de 2 à 5 m ;
- d. un gravier pouvant atteindre 2 m où prédominent les galets roulés de quartz ; ces galets montrent souvent des fissures rubéfiées ; certains sont mal arrondis, et beaucoup ont éclaté suivant les fissures ; ils sont mélangés à un peu de terre semblable à la couche supérieure ;
- c. une formation de caractère éluvial, avec élimination des particules fines et enrichissement en quartz anguleux abondants et disposés sans ordre ;
- b. une couche de colluvium, déplacé par les transports en masse et relativement plus riche en produits d'altération de la roche-mère, à mesure qu'on

s'enfonce ; les filons (éventuellement stannifères) se reconnaissent de plus en plus nettement en profondeur, tandis que les cailloutis qui en dérivent ont tendance à se mélanger vers le haut pour donner l'éluvion proprement dite ; éluvion et colluvium peuvent avoir chacun de l'ordre de 2 m d'épaisseur, mais parfois beaucoup plus ou beaucoup moins ;

- a. la roche en place, complètement pourrie (saprolite) vers le haut, reconnaissable à la fois à l'existence de filons non dérangés et à la persistance de structures identifiables ; les tons ocre qui caractérisent les couches b à e s'observent encore jusqu'à une certaine profondeur dans le bed-rock ; mais l'altération peut descendre bien plus bas encore, sans la rubéfaction de nature latéritique (granites décolorés, schistes ou quartzites graphiteux).

Les termes éluvion et colluvium ont ici le sens qu'on leur donne couramment en prospection au Zaïre ; il en existe d'autres définitions (BATES & JACKSON 1980, etc.).

Dans un tel profil, la dépendance des horizons b et c est évidente vis-à-vis du substratum, avec lequel ils constituent des «latérites» au sens que les Français donnent parfois à ce terme : il y a eu, essentiellement, départ progressif des composants silicatés (ou de leurs dérivés) du bed-rock, avec déplacement d'autant plus marqué que la surface du sol s'écarte de l'horizontale ; quand la pente est plus sensible, le «fauchage» des filons est la règle et peut même s'amorcer dans le bed-rock non appauvri en matières argileuses. Un cas particulier du fauchage est représenté par ce que certains prospecteurs appellent des «filons-couches» : il s'agit en général de filons épais (1 ou 3 m) qui ont basculé dans le colluvium sans dissociation marquée des blocs qui en résultent et donnent, dans des puits de petit gabarit (1,20 × 0,60 m) l'illusion d'une couche continue ; un colluvium bien minéralisé peut exister par-dessous.

L'horizon d est en grande partie la stone-line des surfaces planes, mais elle a des caractères liés aux couches sous-jacentes : l'aspect mal roulé de certains de ses éléments, témoin de leur faible transport, et leur rubéfaction habituelle, signe de leur ancienneté, sa forte épaisseur, liée à l'abondance des filons d'où dérivent ces galets, et aussi sa minéralisation.

Car, et ceci est un fait remarquable de la stone-layer complexe des éluvions stannifères du Maniema : toute son épaisseur (jusqu'à 10 m au total) renferme de la cassitérite et, là où elle est exploitable, elle l'est sur toute la tranche, depuis le «stérile» jusqu'au colluvium, avec des teneurs à peine plus fortes dans les horizons c et d ; toute la couche a donc au moins ce caractère en commun, et ce trait dérive évidemment du substratum, lui-même souvent

modérément «payant» par une exploitation en masse abattant les filons et la roche encaissante pourrie. À noter que la cassitérite a un aspect calqué sur celui du milieu où elle se trouve : fine (voire «géochimique») dans le recouvrement, souvent usée mais grossière dans l'horizon d, anguleuse (ou en cristaux) plus bas.

Un cas particulier de stone-line dans les champs d'éluvions minéralisées du Maniema a été publié il y a longtemps (RAUCQ 1949) : il s'agit des formations trouvées dans les vallées sèches qui les entaillent en un réseau serré. L'horizon d de la haute-terrasse a fourni des cailloux roulés qu'on aurait tort de lier à l'alluvionnement normal ; ils sont d'ailleurs associés à des débris de quartz de type éluvial.

Enfin, quand l'érosion a été plus énergique et n'a guère laissé subsister de surface sommitale plane, l'horizon d peut manquer, et les versants plus raides ne montrent pratiquement que du gravier anguleux, où éluvion et colluvium se distinguent malaisément, mais où le recouvrement ne fait jamais défaut.

1.2.2. *Dépôts de terrasses*

Je m'attacherai particulièrement aux terrasses minéralisées en cassitérite (et minerais associés), liées au réseau hydrographique, non associées à un complexe d'éluvions (1.2.1.) et moins simples que les surfaces planes à gravier roulé (1.1.). Comme les éluvions décrites, il s'agit de cas relevés à Tshamaka et Kalima (RAUCQ 1951).

Les stone-lines correspondant à ces terrasses sont de deux types principaux. Dans les deux cas, elles reposent par une surface nette sur le bed-rock en place, généralement pourri. Le minerai est un élément constitutif de la stone-line ; c'est sa répartition qui permet de distinguer deux types.

Dans le premier, le classement du dépôt est normal, sinon parfait, et lié à l'alluvionnement ancien, avec transport ; cela se marque par une «ligne» foncée à la base du gravier, bien roulé et non rubéfié ; cette ligne, de l'ordre du centimètre d'épaisseur, contient une partie très importante du minerai (avec d'autres minéraux denses éventuels) et fort peu de quartz ; le gravier lui-même, de l'ordre de 0,5 à 1 m, ou davantage, est généralement minéralisé, mais en cassitérite fine et à plus basse teneur, quoique souvent exploitable ; le recouvrement est pauvre, voire stérile, et peut atteindre 1 à 4 m. Gravier et minerai concentré constituent sensu stricto une stone-layer double. Il faut y ajouter la partie supérieure du bed-rock pourri : la cassitérite grossière y a souvent pénétré par densité et peut le rendre payant ; les quartz roulés, par contre, n'y ont guère pénétré ; on peut concevoir que cette pénétration du

bed-rock par le minerai date surtout d'une époque où la terrasse était un lit majeur de rivière et où le bed-rock était gorgé d'eau à chaque crue. Ce type de terrasse est visible notamment dans les chantiers en activité du Bloc Kalima.

Le second type est fort différent ; je l'ai observé à Tshamaka à une vingtaine de m au-dessus de la Lowa, constituant ensuite un glacis en pente douce indépendant des éléments secondaires du réseau hydrographique actuel : ce glacis passe insensiblement aux éluvions minéralisées complexes décrites ci-dessus (1.2.1.), encore que celles-ci se situent d'habitude à un niveau plus élevé. On y observe souvent une inversion de la minéralisation ; cela se présente là où le bed-rock ne contient pas de filons minéralisés : recouvrement payant, gravier supérieur plus ou moins roulé à teneur voisine de la teneur limite, gravier inférieur autochtone très pauvre. On ne peut expliquer ce phénomène que de la façon suivante : de bas en haut, les éléments du dépôt sont susceptibles de venir de plus en plus loin (comme l'indiquent la granulométrie et le degré d'usure), c'est-à-dire, dans les cas favorables, d'avoir bénéficié davantage du centre de minéralisation primaire situé à quelque distance.

Un mot encore d'une variante qui s'observe dans certaines terrasses ou alluvions bien classées des zones granitiques (ou cristallines). Le recouvrement est séparé du gravier par une couche de sable quartzeux ou quartzo-feldspathique provenant d'arènes ayant subi une désargilisation complète ; ce sable, souvent grossier, peut être considéré comme constituant une couche de la stone-layer ; il est fluent et très gênant en prospection par puits. Sable et recouvrement sont stériles.

1.3. FAUX BED-ROCKS

Un autre cauchemar des prospecteurs au Maniema est représenté par les «faux bed-rocks» des allusions et basses-terrasses des grandes rivières.

Il s'agit du substratum de cailloutis atteint par puits ou petits sondages (Banka, tarière) : lorsque ce substratum est un matériau argileux ou argilo-sableux verdâtre ou ocre sans structure bien nette (même s'il est micacé), il y a chance pour qu'il soit allochtone et qu'une autre couche de gravier (roulé) existe plus bas. Même un œil exercé peut s'y tromper et, parfois, seul l'approfondissement du puits permet d'y déceler un faux bed-rock. Les deux couches de cailloutis peuvent être semblables ou non ; chacune d'elles est, à proprement parler, une stone-line ; mais les chances de minéralisation sont généralement meilleures pour le gravier inférieur, qu'il importe d'échantil-

lonner. Il arrive même qu'il y ait trois graviers indiscutables, et que le vrai bed-rock n'apparaisse que plus bas (exemple de l'Ulindi).

L'origine de cette singularité est à chercher, sans doute, dans des variations climatiques mineures, des phases de colmatage alternant avec des phases d'érosion et d'alluvionnement plus modeste ; peut-être des mouvements épirogéniques sont-ils intervenus pour relever un niveau de base régional et avoir un effet analogue. Je n'ai pu approfondir la question.

2. Observations faites au Kasai (Zaïre)

Le Kasai, où j'ai séjourné en 1952-54, 1956-60 et 1966-68, est semblable dans ses deux «Régions» administratives actuelles. Le relief est constitué par un plateau étagé aux altitudes comprises entre 450 et 900 m, découpé par de nombreuses vallées avec un encaissement de l'ordre de 50 à 100 m. La forêt, en régression, y tient encore une large place ; elle couvrait encore naguère, jusque loin de l'équateur, la plupart des versants et même le rebord des plateaux. Du nord au sud, on passe d'un climat équatorial typique à un climat subéquatorial (1500 mm de précipitations réparties sur 8 à 9 mois, sans rigueur absolue pour les mois «secs»).

Les formations tendres, mésozoïques et meubles cénozoïques couvrent la plus grande surface, mais le socle cristallin ou volcano-sédimentaire (plus de 2000 MA) apparaît dans les grandes vallées au sud du 5° parallèle et s'étend de plus en plus largement au sud du 6°. Un soubassement plus récent (Protérozoïque supérieur de 1000 MA environ) est constitué à l'est par les séries sédimentaires du Bushimay.

J'y ai distingué (RAUCQ 1959) trois paysages bien typés et étendus (Fig. 3) : bas-plateaux du Kasai central, forêts du nord, avancées de la forêt au sud du 5° parallèle. Il existe en outre quelques autres paysages étroitement liés à la constitution géologique : terres rouges sur roches basiques, substratum à activités karstiques, aires d'affleurement de couches mésozoïques grése-marneuses, surfaces granitiques.

Trois types de stone-lines sont envisagés ci-dessous, en les rattachant à certains de ces paysages.

2.1. BASE DES SABLES DE COUVERTURE

Les bas-plateaux et, dans une large mesure, les étendues de forêts du nord et les extensions forestières du sud sont habituellement couverts (LEGRAND & RAUCQ 1957) d'un manteau fort homogène sans différence liée au niveau altimétrique ou morphologique, s'étendant à la plupart des versants

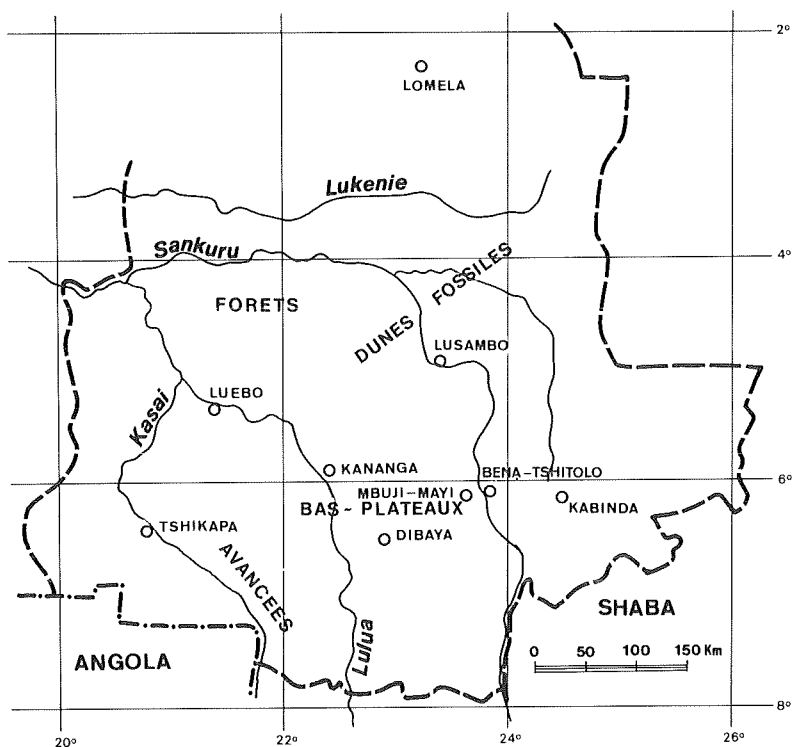


Fig. 3. — Kasai. Plan de situation.

et atteignant fréquemment 35 à 40 m. Ce manteau ubiquiste est un sable ocre rouge non stratifié, légèrement argileux, ferrugineux et ilménitifère, à grain assez fin, généralement arrondi, souvent vernissé et éolisé ; sa granulométrie est uniforme et voisine de celle des alluvions sableuses ou des grès tendres mésozoïques proches ; il se distingue de ces derniers par la rareté des grains anguleux et l'absence de feldspath.

Ce sable est souligné par une couche de cailloutis à galets de quartz roulés, parfois marqués d'une éolisation secondaire, avec débris de calcédoine brune (ou d'agates, ou de grès calcédonieux) et éventuellement grenaille limonitique abondante ; cette couche, généralement mince, localement discontinue, ne dépasse pas quelques décimètres. En prospection hydrogéologique, c'est un repère précieux pour déceler la limite du sable de couverture allochtone du bed-rock en place, qu'il s'agisse de couches crétacées ou d'un saprolite du soubassement ; il nous a servi dans l'interpréta-

tion d'une bonne douzaine de sondages pour eau (ou de simple reconnaissance) exécutés en 1953-54 au Kasai central. Cette couche s'observe directement dans les coupes naturelles que constituent les cirques d'érosion (RAUCQ 1958) ; les cirques permettent d'avoir une idée réelle de son épaisseur : au dépouillement, les échantillons de sondage montrent parfois sur plusieurs mètres des galets mêlés au sable ou au grès désagrégé en cours de forage par battage.

Il s'agit d'une stone-line typique, bien qu'elle puisse présenter, selon les niveaux, une signification géomorphologique différente : dans certains cas, j'ai constaté que le cailloutis et la partie inférieure du sable sont cimentés par une cuirasse limonitique pouvant avoir environ 1 m d'épaisseur ; les conditions où je l'ai observée n'excluent pas que ce cuirassement corresponde à la surface d'aplanissement fin-tertiaire. Mais cette stone-line est parfois aussi dépourvue d'éléments de caractère latéritique.

En tout cas, l'origine éolienne du sable et son âge plio-pléistocène semblent maintenant bien établis pour le dépôt qui recouvre la surface supérieure au nord de Lusambo (700 m) où L'Admirant a identifié récemment sur image Landsat (1984) une morphologie qui ne peut guère correspondre qu'à un champ de dunes fossiles liées à un épisode désertique ayant affecté une étendue couverte actuellement par la forêt équatoriale humide. Cet épisode aurait été précédé par une pénéplanation poussée, marquée par un cailloutis de type fluvial affecté par l'éolisation au début de la phase climatique suivante.

Dans cette interprétation des faits, le sable de même nature couvrant les aplanissements inférieurs pourrait résulter d'un remaniement, et la stone-line qui le souligne avoir en partie la même provenance ; mais les grès mésozoïques voire d'autres formations pourraient également avoir fourni une partie des matériaux.

Sable de couverture et stone-line basale peuvent manquer par places : c'est le cas de certaines surfaces granitiques et d'une grande partie de l'aire d'affleurement du Lulua et du Bushimay.

2.2. CARAPACES CONGLOMÉRATIQUES

Je regroupe ici deux cas de cuirassement affectant fréquemment, au Kasai, des stone-lines graveleuses : le premier est un aspect de la latéritisation des dépôts superficiels ; le second comporte des phénomènes de silicification.

a. Une cuirasse latéritique se développe souvent à la base des sables de couverture, cimentant indifféremment les galets roulés de quartz, des débris

siliceux et la grenaille limonitique, qui est probablement la source principale des hydrates ferriques nécessaires. Cette cuirasse, qui atteint jusqu'à 4 m, peut s'étendre à la partie inférieure, non graveleuse, du sable. On en rencontre de nombreux fragments voire des blocs à flanc de coteau sous la surface fin-tertiaire. Il n'est toutefois pas exclu qu'ils proviennent en partie de formations similaires marquant les aplanissements inférieurs.

En tout cas, il s'en est formé également dans d'autres conditions, à des époques plus récentes de climat peut-être moins sec : j'en connais sur schistes et sur roches basiques (de différents âges géologiques) généralement sur des replats ou des versants en pente douce. Sur schistes, il s'agit habituellement d'une accumulation pouvant avoir plusieurs mètres de pisolithes latéritiques, cimentés ou non, avec quelquefois des galets de quartz, et à la base, des débris rocheux. Sur roches basiques, il se développe facilement, même à l'heure actuelle ou tout récemment, des carapaces ferrugineuses sombres, concrétionnées ou conglomératiques, massives ou celluleuses ; on y discerne encore souvent d'anciens pisolithes, et on y observe, selon les endroits, une abondance plus ou moins grande de galets établissant leurs relations avec un aplanissement ou une terrasse.

b. Les plateaux les plus élevés du Kasai méridional montrent, surtout au sud-est (DELHAL & LADMIRANT 1979), des vestiges de formations cénozoïques comportant un terme supérieur sableux, de teinte ocre jaune («Sables ocre»), néogène, et un ensemble inférieur comportant des sables, des grès tendres et des meulières connues sous le nom de «Grès polymorphes» ; ces dernières, formations continentales d'origine lacustre sous climat aride, résultent de la silicification de roches gréseuses ou calcaires ; elles comportent un facies conglomératique à cailloux empâtés dans le ciment siliceux, pour lequel on peut parler de stone-line silicifiée.

Mais il est des meulières plus récentes, ressemblant aux grès polymorphes authentiques, l'une provenant selon toute vraisemblance de la silicification du dernier aplanissement, situé à environ 50 m au-dessus des thalwegs, l'autre résultant manifestement de la silicification des alluvions récentes. Toutes deux sont des roches à dominante jaune, à ciment quartzeux ou calcédonieux, à grains de quartz fins et bien arrondis, serrés ou disséminés, la calcédoine (ou le quartz microcristallin) pouvant devenir le constituant essentiel ; on y trouve aussi fort souvent des galets de quartz bien roulés, parfois très abondants, des calcédoines subanguleuses sombres et éventuellement des agates zonaires, rarement des débris rocheux.

Plus nettement que pour les grès polymorphes proprement dits, on a affaire à des graviers fluviaux (stone-lines d'un type connu), ayant subi une

cimentation siliceuse ; celle-ci respectivement pléistocène et holocène, n'a pas demandé des conditions climatiques comparables à la silicification mi-tertiaire.

2.3. RÉSIDUS ET VESTIGES

On ne peut quitter le Kasai sans mentionner deux groupes de constituants accessoires ou exceptionnels de certaines stone-lines.

Le premier englobe les résidus de désagrégation et de dissolution des roches carbonatées. J'en ai observé de deux types : les cherts de type divers particulièrement abondants dans les dolomies protérozoïques du Bushimay (RAUCQ 1957), les silex des couches calcaires, marnes, macignos, parfois argilites (RAUCQ 1956), datées de l'Aptien-Albien. Ces accidents siliceux, souvent mêlés à des galets quartzeux ou rocheux, peuvent constituer l'essentiel de la stone-line plus ou moins continue visible en surface ou soulignant la limite roche-terrains superficiels, tant sur les pentes que sur les surfaces planes. On ne peut les confondre : les cherts sont gris ou foncés, souvent zonaires (éventuellement à structure concentrique), de forme trapue ; les silex sont aplatis, gris ou blonds, toujours munis d'un épais cortex blanchâtre.

Le second groupe concerne les témoins d'industries lithiques trouvés en quelques endroits, soit à la surface de sols en pente, soit associés à des dépôts graveleux (CLARK 1963) ; les pierres taillées sont ainsi à considérer sensu stricto comme des éléments constitutifs exceptionnels de stone-lines, qu'elles peuvent d'ailleurs aider à dater. En un endroit, toutefois, leur abondance est telle qu'elles y représentent une part notable des matériaux d'une «stone-line superficielle» : j'ai observé de nombreux silex taillés jonchant le sol, mêlés en proportion appréciable aux silex intacts, sur le plateau des Bena Tshitolo ; il n'est que de se pencher sur la piste pour séparer les uns des autres.

3. Observations faites au Mali

Une succession de missions (1973, puis quatre de 1977 à 1980) et de séjours (1981-83, 1986-87) au Mali, dans des cadres variés, m'a permis notamment d'approfondir la signification de deux types de stone-lines. Ceux-ci ont été examinés au sud du 15° parallèle S et à l'ouest du 5° méridien W (Fig. 4) dans des surfaces occupées d'une part par un ensemble précambrien cristallin et métamorphique (Protérozoïque inférieur), d'autre part par des séries sédimentaires infracambriennes et cambro-ordoviciennes (?).

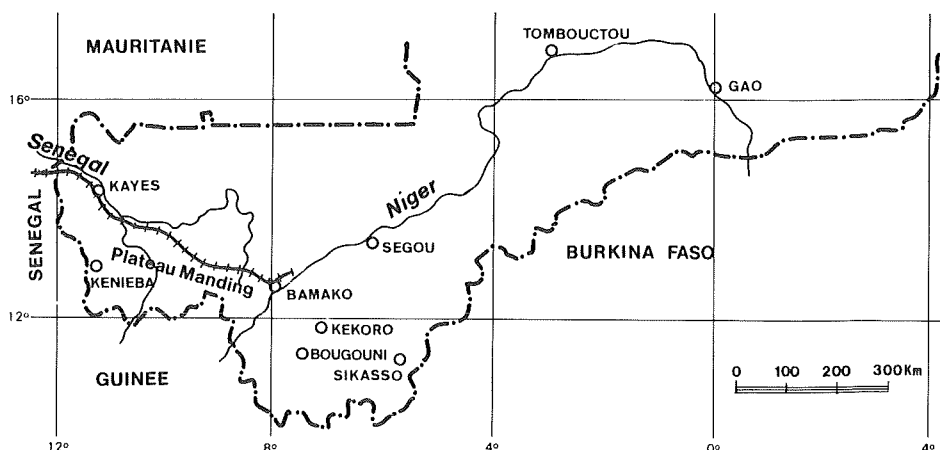


Fig. 4. — Sud du Mali. Plan de situation.

Le relief en est peu accusé, avec des altitudes se tenant généralement entre 250 et 500 m (à peine plus sur le plateau Manding), d'immenses surfaces subhorizontales et des plateaux surplombant des plaines par des escarpements accusés. Le réseau hydrographique, fort peu dense et intermittent, appartient aux bassins du Niger et du Sénégal, et on passe de l'un à l'autre d'une façon peu perceptible.

La région appartient entièrement (TRAORE 1980) aux zones climatiques nord-soudanienne (Kayes-Kénieba-Bamako-Ségou) et sud-soudanienne (Bougouni-Sikasso), avec une pluviosité annuelle croissant, du nord au sud, de 700 à 1400 mm et répartie sur 4 mois environ ; les températures sont élevées ou très élevées toute l'année (maxima de 35 à 45°), sauf pendant les 2 à 3 mois d'hiver (minima de 10 à 15°). La végétation reflète ces particularités, passant du domaine soudanien (savane arborée-arbustive) au domaine soudano-guinéen (forêt claire-savanes), tous deux avec galeries forestières, plus importantes toutefois dans le sud.

3.1. EAUX SOUTERRAINES ET STONE-LINE

Deux programmes hydrogéologiques récents étaient susceptibles d'apporter quelques lumières sur une stone-line qui constitue un repère utile dans la recherche et le développement de ressources en eau. Le premier, de la coopération helvète-malienne, avait pour objectif le forage et l'équipement de puits autour de Bougouni, dans des formations granitiques et métamorphi-

ques. Le second, de la coopération belgo-malienne, s'est attaché à l'alimentation en eau des implantations de la Régie du Chemin de Fer jusqu'à la frontière sénégalaise ; les formations concernées sont surtout, de Bamako à Kayes, des séries gréseuses ou psammitiques avec des massifs ou intercalations de «dolérites». Dans les deux cas, le choix des sites s'est fait sur la base d'études géophysiques.

Les sites des puits pour eau correspondent rarement à des cuirasses latéritiques, moins bien représentées de toute façon dans l'étendue du programme suisse (climat, lithologie) ; les géophysiciens belges les ont évitées autant que possible dans leur zone, où elles contrarient les mesures.

En fait, les hydrogéologues suisses ne se sont guère préoccupés de rechercher une stone-line à la limite des terrains superficiels et les formations en place, habituellement pourries ; ils réservent d'ailleurs, contrairement aux géologues miniers, le mot *bed-rock* à la roche dure, la seule à présenter de l'intérêt dans leur recherche de structures favorables à l'abondance d'eau exploitable. Cette stone-line existe pourtant partout, sous la forme d'un cailloutis généralement mince et parfois discontinu, visible notamment dans les puits coutumiers et les rares tranchées de routes ayant atteint le saprolite.

Un effort a été fait pour la déceler dans les forages de la mission belge. Cela a été généralement possible, même si sa présence ne se marque que par de la grenaille latéritique (parfois plus de 2 m), de menus débris rocheux et quelques galets de quartz, petits et rares. Les terrains superficiels montrent une certaine dépendance vis-à-vis du *bed-rock* saprolitique ou dur : limon sablo-argileux ou argile latéritique selon qu'il est gréso-schisteux (psammites et shales) ou doléritique.

L'intérêt d'une localisation précise de la stone-line est double, scientifique et pratique. Elle peut aider à reconstituer l'évolution du relief. Elle permet de repérer une limite où changent les propriétés du terrain, même s'il est meuble de part et d'autre et malgré la dépendance qui les lie souvent : cette limite est habituellement la base de la nappe phréatique, malheureusement temporaire dans les conditions climatiques présentes.

3.2. ORPAILLAGE ET LATÉRITES

J'ai été amené à m'intéresser à deux zones d'orpillage, situées respectivement dans les deux unités birrimiennes de Kéniéba et de Bougouni (BASSOT *et al.* 1981).

3.2.1. *Bande de Kéniéba*

Cette zone montre d'immenses étendues où l'orpillage est actif depuis des siècles, et est actuellement toujours très productif ; j'ai visité de vastes

chantiers où les exploitants locaux extraient l'or suivant une technique bien connue. En pratique, ils lavent par des moyens rudimentaires les graviers extraits à partir de puits circulaires de faible diamètre dans des formations récentes présentant les caractères d'alluvions et de terrasses (ou de pied-mont). Ces puits traversent en général, comme à l'emporte-pièce, une cuirasse latéritique souvent de 2 à 5 m, et l'extraction se fait par sous-cavage. Ce dispositif ne permet pas d'avoir une vision directe de ces graviers ni de leur classement éventuel ; mais les produits extraits contiennent éventuellement des cailloux de quartz roulés ou anguleux et une grande abondance d'éléments latéritiques, ce qui correspond à une stone-line typique. Cette stone-line repose sur un saprolite quelquefois traversé de filons, où les artisans n'hésitent pas à s'enfoncer à la recherche d'or primaire.

Les travaux du Syndicat Or (B.R.G.M.-Gouvernement malien) ont dégagé par tranchées des coupes plus explicites. En voici deux exemples :

— à Bilali, de haut en bas :

- . «stérile» ;
- . cuirasse latéritique (env. 3 m) ;
- . gravier de type fluviatile (galets roulés) ;
- . colluvium ;

la notice explicative de la carte (BASSOT *et al.* 1981) fait état de deux graviers séparés par un faux-bed-rock ;

— à Sitakili, de haut en bas :

- . déblais remaniés avec maigre cailloutis à la base ;
- . limon ocre (env. 2 m) avec un sol au sommet ;
- . éluvion plus ou moins cuirassée (latérite pisolithique grenue avec blocs de quartz anguleux : 0,3 à 2 m) ;
- . colluvium, exploité par les orpailleurs avec la base de la latérite ;
- . bed-rock (tuf ou grauwacke), éventuellement faux-bed-rock.

On retrouve dans ces profils beaucoup d'éléments des stone-layers du Maniema (1.1 ci-dessus) ; certains peuvent manquer, mais il s'y développe un constituant régional, avec une ampleur remarquable : les cuirasses latéritiques.

3.2.2. *Placers de Kékoro*

Encore l'objet d'un orpillage occasionnel, sinon saisonnier, semblable à celui de Kéniéba, la surface à l'ouest de Kékoro, dans l'unité de Bougouni, a été prospectée en 1981-82 par la MIMA, petite société à capital belge

pratiquant des techniques inspirées des méthodes mises au point au Congo Belge (Zaïre). Contrairement au Syndicat Or, axé sur la recherche de gîtes primaires, la MIMA a échantillonné, non sans succès, les dépôts détritiques exploités par les orpailleurs.

Sans entrer dans les détails, disons que ces dépôts tapissent des fonds de vallées boisées et leurs versants. La minéralisation est contenue surtout dans des graviers ayant en partie un aspect fluvial, avec aussi des éléments anguleux et latéritiques. Cette minéralisation peut être notable, quoique décroissante vers le haut, dans l'épaisse couche de latérite surincombante (échantillonnée mètre par mètre), où il arrive qu'on discerne la présence d'or secondaire (visible). Les teneurs diminuent aussi latéralement, sans que les limites entre flat et versants soient toujours bien perceptibles. Les bed-rocks (pourris) montrent aussi des filons de quartz.

Dans l'ensemble, Kékoro reproduit les conditions observées à Kéniéba, dans un environnement géologique, géomorphologique et climatique similaire ; mais l'exécution d'un réseau régulier de puits a permis aux spécialistes belges d'établir les constantes du dépôt et de confirmer les caractères de la stone-line.

4. Conclusions

L'exposé qui précède ne contredit pas l'ubiquité admise ou sous-entendue par de nombreux auteurs : les cas variés qui ont été présentés appartiennent à la stone-line générale.

La plupart des cas, sinon tous, ont un point commun : ils soulignent des surfaces horizontales ou presque ; alors qu'un grand nombre d'auteurs (p. ex. VINCENT 1966) décrivent des stone-lines dégagées à l'occasion de terrassements routiers, ferroviaires ou autres, c'est-à-dire dans des conditions de relief qui imposent de tels terrassements : ces stone-lines sont alors des formations de pente. D'une manière générale, ailleurs, on a surtout étudié les stone-layers en fonction de l'évolution des versants.

L'analyse de coupes en terrain subhorizontal a de meilleures chances de s'adresser à des formations moins dérangées que sur les versants. C'est précisément en prospection que les besoins de l'échantillonnage traversent, sur de telles surfaces, des dépôts peu ou pas déplacés, moins mélangés, en liaison plus nette avec le substratum, qui n'auraient pas pu être observés directement : ces surfaces peuvent être des éléments de pénélaines, des aplanissements partiels, voire des plaines alluviales. Les plus beaux exemples sont fournis par les profils présentés en 1.2, mais les autres cas décrits sont

également révélateurs. Cette étude aurait d'ailleurs pu être intitulée «Stone-lines dans les surfaces horizontales en Afrique intertropicale».

Sans vouloir épuiser la question de l'origine des stone-lines dans les régions intertropicales, il me semble évident qu'elles sont de toute manière en relation avec l'évolution du relief, qui tend à la réalisation de surfaces horizontales : ce fait peut toutefois échapper si cette évolution est trop rapide ou désordonnée. Les galets roulés, presque toujours présents sous les surfaces, sont un repère sous lequel peuvent se développer éluvion et saprolite, sur lequel a pu s'accumuler une épaisseur considérable d'altérites peu éloignées de leur origine, ou au contraire de sables et de silts éoliens.

Ces derniers sont, au Kasai, une réalité dont VOGT (1966) écarte la possibilité ; je ne veux pas dire par là que le cailloutis lui-même soit d'origine éolienne.

Un dernier mot concernant l'importance économique des stone-lines. L'activité minière dans les régions intertropicales leur est étroitement liée (depuis près d'un siècle en Afrique) quand elle s'adresse à des substances utiles susceptibles de faire partie de concentrés : géologues de sociétés et prospecteurs privés, ingénieurs et mineurs ont travaillé les stone-lines, ou plutôt les stone-layers, pendant des décennies, et en connaissaient presque tout, sauf le nom. Je n'en veux pour exemple que de brefs extraits de mes propres instructions techniques aux géologues et prospecteurs (RAUCQ 1963) ; trois des neuf cas abordés dans cette note y sont clairement indiqués :

«Dans les dépôts complexes, on aime souvent échantillonner séparément les couches de composition différente. C'est le cas dans les grands flats des régions granitiques, où une couche de sable d'arène s'intercale normalement entre le recouvrement terreux et le vrai gravier ; ou bien dans les dépôts de haute-terrasse, où la couche de gravier roulé surmonte parfois un colluvium enrichi ... Dans tous ces cas, il est opportun de faire des tas séparés pour chaque couche ... Il est procédé de même, par prudence, quand le pelleteur atteint une couche qui pourrait être le bedrock pourri, mais qui est peut-être un faux bedrock ...».

REMERCIEMENTS

La mise au point de cet article a été réalisée au Département de Géologie et de Minéralogie du Musée royal de l'Afrique centrale. Je le remercie pour son hospitalité et les facilités que j'y ai trouvées.

BIBLIOGRAPHIE

- BASSOT, J. P., MELOUX, J. & TRAORE, J. 1981. Notice explicative de la carte géologique à 1/1.500.000 de la République du Mali. — Dir. nat. Géol. et Mines du Mali, 137 pp.
- BATES, R. L. & JACKSON, J. A. 1980. Glossary of geology, 2nd ed. — Amer. Geol. Inst. Falls Church, Virginia, x + 751 pp.
- CLARK, J. D. 1963. — In : DELHAL, J., LEPERSONNE, J. & RAUCQ, P. 1966.
- DELHAL, J. & LADMIRANT, H. (coordinateurs). 1979. Carte géologique du Zaïre à l'échelle du 1/200.000. Notice explicative de la feuille Mbuji Mayi. — Dir. Géol. Rép. Zaïre, 50 pp. Co-auteurs : CAHEN, D., CAHEN, L., FIEREMANS, C., LEPERSONNE, J., RAUCQ, P.
- DELHAL, J., LEPERSONNE, J. & RAUCQ, P. 1966. Carte géologique du Zaïre à l'échelle du 1/200.000. Notice explicative de la feuille Dibaya. — Serv. géol. Rép. Congo, 51 pp.
- LADMIRANT, H. 1984. Télédétection aérospatiale et géologie dans le cadre de la coopération au développement. — In : Symposium «La télédétection, facteur de développement outre-mer». Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, pp. 65-92.
- LEGRAND, R. & RAUCQ, P. 1957. La faille de la Malafudi et son cadre géologique (Kasai). — *Ann. Soc. géol. Belg.*, **66** : 109-133.
- RAUCQ, P. 1949. À propos des vallées sèches du Maniema. — *Ann. Soc. géol. Belg.*, **72** : 279-288.
- RAUCQ, P. 1951. Note sur la morphologie de la région de Tshamaka (2.01.51), 6 pp. — Recherches en terrasses dans le Bloc Kalima (6.07.51), 6 pp. — Programme de recherches en éluvions et terrasses dans le Polygone Tshamaka (13.07.51), 7 pp. — Rapports inédits à la Société REMINA.
- RAUCQ, P. 1952. Notes de géographie sur le Maniema. — *Mém. Inst. r. col. belge*, Cl. Sci. nat. et méd., sér. in-8°, **21** (7), 71 pp.
- RAUCQ, P. 1956. Coupes dans le Mésozoïque de la région de Bakwanga (Kasai). — *Ann. Soc. géol. Belg.*, **79** : B 249-276.
- RAUCQ, P. 1957. Contribution à la connaissance du système de la Bushimaie. — *Ann. Mus. r. Afr. centr.* (Tervuren) in-8°, Sci. géol., **18**, xii + 427 pp.
- RAUCQ, P. 1958. À propos des cirques d'érosion du Kasai. — *Ann. Soc. géol. Belg.*, **81** : B 283-293.
- RAUCQ, P. 1959. Paysages géographiques du Kasai. — *Congo-Tervuren*, **5** (4) : 92-99.
- RAUCQ, P. 1963. Instruction technique n° 2. Exécution des fouilles. — Dir. Géol. et Mines de la Haute Volta, 6 pp. (diffusion restreinte).
- TRAORE, M. (éd.), 1980. Atlas du Mali. — Éd. Jeune Afrique, Paris, 64 pp.
- VINCENT, P. L. 1966. Les formations meubles superficielles au sud du Congo et au Gabon. — *Bull. Bureau Rech. géol. et min.*, **1966** (n° 4) : 53-111.
- VOGT, J. 1966. Le complexe de la stone-line. Mise au point. *Bull. Bureau Rech. géol. et min.*, **1966** (n° 4) : 3-51.

