

Morphologie et morphogenese dans le Nord de la Cote d'Ivoire. La part du climat actueldans le modele de la sequencecuirasseedvOunangakaha(Region de Korhogo).

KAMBIRESambi

Maître de conférences, Géographie physique et Eco-géographie, Université Peleforo GON COULIBALY

Résumé

Cetteétude vise à étudier, sur la séquence cuirassée de la zone d'Ounangakaha, les formes de modelé façonnés par les climats actuelset subactuels à partir de l'héritage des formes.

Des mesures directes de l'érosion, surla séquence cuirassée, permettent de préciser les évolutions à partir d'un niveau de base local étudié par photo-interprétation.

Les résultats montrent trois niveaux paléoclimatiquesde modelés cuirassés (bauxitique, intermédiaire, haut-glacis).Entre ces niveaux plus anciens, et sur du matériel livré par la pédogenèse aux processus et systèmes d'érosion actuels et subactuels, sont réalisés des gouttières à la base des hauts reliefs ainsi que des bas-glacis et cuirasses de plaines alluviales.

Mots- clés : morphologie, morphogenèse, séquence cuirassée, Korhogo

Morphologyand morphogenesis in Northern Côte d'Ivoire:role of current climate in sequence with a ferricret crust on top in the Ounangakaha sector (Korhogo region)

This work aims to study, on landscape sequence with a ferricret crust on top (plintite) inthe Ounangakaha sector, reliefs linked to current erosion processes.

Datas are based on erosion measurements on the plintite sequence for clarifying the evolutions from a local base level studied by photointerpretation. Then, research onerosion traces and soil material based on field studies is carriedto highlight the role of climatic variations.

Results make appear three paleoclimatic levels of plintite(bauxitic surfaces, intermediate reliefs, upper glacis). Between these older plintitelevels, and on material delivered by pedogenesis to current and sub-current erosion processes, depressionsare hollowed around certain inselbergs or rock bars and low glacis or alluvial plainswith plintite appear at the downstream of the older glacis.

Keywords:morphology, morphogenesis, cuirass sequence, Korhogo

Introduction

Les problèmes d'évolution géomorphologique ont été,de longues dates, du plus haut intérêt en Côte d'Ivoire.

Une chronologie relative apparaît même si aucun élément ne permet jusqu'ici, dans le cadre des modelés décrits, de la transformer en chronologie absolue. Les observations effectuées permettent d'affirmer l'existence de :

- de niveaux bauxitiques : ilssont décrits comme surface d'aplanissement primitive et correspondraient à la Grande Surface Africaine éocène selon Millot G. (1964) et Tessier F. (1965) à la suite de Leclerc J.C., Richard-Molard J., Lamotte M., Rougerie G., Porteres R. (1955) ;

- niveauxde cuirasses intermédiaires :ils seraient susceptibles d'être datés au Mio-pliocène(Nahon D. et Demoulin D., 1970) ;

- trois glacis qui se succèdent au cours du quaternaire ; le façonnement du bas-glacis précéderait l'inchirien supérieur (Michel P., 1969), ce qui établirait son âge approximativementà 40 000 B.P. (Faure M., Elouard P., 1967).

Mais les diverses études n'ont jamais été aussi loin des problèmes d'évolution géomorphologique, l'essentiel de celles-ci se contentant de mentionner la présence de ces cuirasses dans le paysage sauf peut-être quelques travaux. Rougerie G. (1961) observe des différences dans les modes de façonnement qui tendent à différencier l'évolution des interfluvies et des vallées. Mais il n'affirme pas l'apparition de modelé actuel en continuation ou en opposition avec les formes déjà existantes. Les observations de Lamotte M. et Rougerie G. (1962), au pied du Nimba, ont montré plusieurs phases d'apports détritiques grossiers séparés par des apports moins grossiers et des apports essentiellement chimiques, mais ils n'ont ni aspect de modelés précis ni de signification morphoclimatique précise.

L'histoire du paysage semble ainsi s'arrêter avec la mise en place du bas glacis. Mais l'observation attentive des vallées montre qu'il n'en est rien et que le bas-glacis, même s'il reste localement fonctionnel, est déjà une étape révolue. La séquence cuirassée d'Ounangakaha est particulièrement démonstrative des évolutions actuelles du modelé.

On ne peut, donc, nier que les différents éléments du relief, tels qu'ils sont décrits ci-haut, doivent beaucoup aux oscillations paléoclimatiques. Mais chemin faisant on a entrevu d'autres facteurs tout aussi importants : les processus d'évolution géomorphologique liés au climat actuel.

La question est alors de savoir, dans cette séquence cuirassée d'Ounangakaha, quels modelés se superposent à l'héritage déjà existant ainsi que les processus d'évolution géomorphologique en relation avec le climat actuel.

L'objectif est d'étudier, sur la séquence cuirassée, les formes de modelé façonnées par les climats actuels. On séparera, pour la commodité de l'exposé, « morphologie » et « morphogenèse », la première faite d'héritages diversement cumulés et emboîtés, la seconde due à des agents et des processus qui n'ont parfois aucun rapport avec le façonnement antérieur du modelé existant.

L'étude repose sur le postulat que le climat actuel et les processus morphogéniques s'exerçant dans le matériel de la pédogenèse sont à l'avant garde et façonnent un contact entre altérites et reliefs cuirassés en modelés de bas glacis, nappes alluviales et gouttières à la périphérie des hauts reliefs.

1. Données et méthodes

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

Le secteur d'Ounangakaha se localise entre 8°5' et 9°48'N et entre 5°25' et 5°35'W (figure 1). Les levés géologiques de M. Arnould (1961) à l'est du 6^e méridien et de R. Couture (1963) à l'ouest du 6^e méridien permettent d'en définir le substrat. Celui-ci est fait d'une alternance de granites du type Baoulé et de séries à faciès birrimiens (roches vertes et schistes). L'ensemble mêle des granites intrusifs du type Bondoukou.

Le relief qui dérive de ce substrat est, dans son ensemble, un plateau mollement ondulé d'altitude moyenne entre 300 et 400 mètres. Quelques reliefs singuliers - dômes granitiques, à l'allure d'inselbergs culminant de 502 à 527 mètres, et des collines de roches schisteuses et basiques d'allure très différente - agrémentent le paysage.

Le climat est du type tropical humide. La saison humide l'emporte de peu, en durée, sur la saison sèche en année moyenne (Kambiré S., Sékongo P. M., 2025).

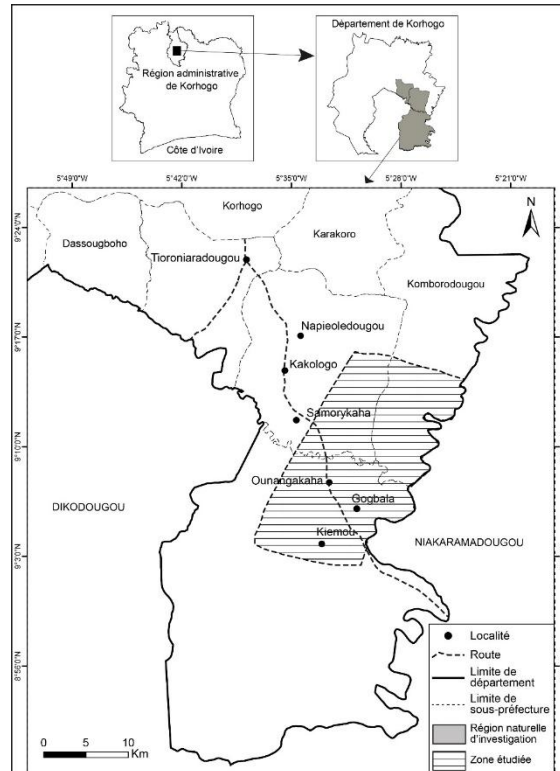


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Source : BNEDT/CCT, 2012

Les sols, variés, sont dominés par le type ferrugineux sur matériau ferrallitique. Des sols ferrallitiques souvent profonds dont les horizons sont peu différenciés, parfois avec un A2 ou un B textural, sont présents en interfluvés. Tandis que des sols minéraux colluviaux marquent les dépressions alluviales. Les ferrisols représentent un stade d'évolution vers les sols ferrallitiques (Maynard J., 1965).

2.2. Méthodologie de collecte et traitement des données

Une première phase de photo-interprétation permet l'étude morphologique de la séquence cuirassée du secteur d'Ounangakaha.

L'opération s'appuie sur des couvertures aériennes CIGN 2024 (ex CCT) au 1/50000.

Sur une surface stéréoscopique de triplets de photographies voisines, on restitue systématiquement toutes les lignes de rupture de pente et toutes les lignes d'inflexion de pente. Ces discontinuités mettent en évidence les facettes topographiques isomorphes que l'on peut facilement distinguer par leur profil en coupe, leur position dans la topographie, la longueur de leur pente, leur dessin en plan. L'action est répétée jusqu'à couvrir totalement l'espace à prospecter.

Par synthèse de ce pré-découpage en facettes, on passe à la reconnaissance des unités morphologiques. On suit, en cela, l'emboîtement des facettes en relevant le moment où la chaîne se rompt par apparition ou par disparition d'un type de facette particulier. L'espace dans lequel l'on reconnaît une succession identique et contiguë de facettes données est celui occupé par une unité morphologique.

Une séquence apparaît alors, reliant les unités morphologiques depuis les facettes sommitales jusqu'aux topographies basses.

Des cartes topographiques CIGN, au 1/50000, sont mises à contribution pour fournir les informations altitudinales.

La fragilité d'un versant peut être appréciée, très globalement, à partir de la quantité de matériaux enlevée lors des averses. Ce qui justifie une seconde phase de mesure directe de l'érosion dans les conditions réelles d'averses tropicales.

L'étude statistique de l'érosion permet, donc, d'identifier les zones sur lesquelles repose principalement l'évolution générale du modèle et l'intensité des systèmes morphogénétiques qui s'y exercent.

On aménage, en cela, un réseau de parcelles expérimentales dans des zones de sondage correspondants aux principaux types de facettes topographiques des unités de paysage reconnues par la photo-interprétation. Dans chacune de ses zones, une parcelle expérimentale de quelques centaines de mètres carrés, en forme de rectangle, est allongée dans le sens de la pente. Un fossé, ouvert à l'amont, isole la parcelle du reste du versant. Alors qu'une gouttière creusée à l'aval permet l'accumulation, dans des bacs, des matériaux emportés par le ruissellement. Les débits solides sont vidés pour être ensuite pesés à la balance Roberval.

Les mesures d'érosion sont accompagnées par l'évaluation du coefficient de ruissellement aux points de sondage. C'est la troisième phase de la méthode.

Ce coefficient est calculé en utilisant la méthode rationnelle qui est largement utilisée pour les petites surfaces. La formule de base est la suivante : $Q = C \times I \times A$, avec Q , le débit de ruissellement (en litres par seconde), C , le coefficient de ruissellement (sans unité), I , l'intensité de la pluie (en millimètres par heure) et A la surface de drainage (en mètres carrés).

L'intensité de la pluie (I) et les surfaces de drainage (A) sont définies sur le terrain. Tandis que les débits de ruissellement sont issus des données de SIEREM (2010) pour la région de Korhogo.

Enfin, une quatrième phase de caractérisation du régime pluviométrique est entreprise. Le but est d'apprécier la signification géomorphologique des conditions climatiques. Les données utilisées couvrent la période 1961-2016. Elles sont issues de la Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM).

2. Résultats

2.1. Morphologie

La photo-interprétation et les relevés de terrain, menés en amont des problèmes d'érosion et de la dynamique des versants, ont permis de préciser le modèle de la séquence cuirassée du secteur d'Ounangakaha (figure 2).

- La haute surface cuirassée (A)

De l'ordre de 500 m d'altitude, la forme apparaît légèrement redressée et allongée avec des affleurements rocheux bien marqués.

Le trait caractéristique du paysage est la présence, en sommet, d'une dalle cuirassée ou qui n'en présente plus que des éléments résiduels isolés. Le matériel est finement vacuolaire, à cristallisation de gibbsite dans un ciment brun rouge d'oxyde de fer. Cette cuirasse empêche le décapage efficace des sommets. L'énorme stock de matériaux altérés n'est libéré que progressivement, par tranches verticales. Il s'écroule sur les pentes et ennoie le knick.

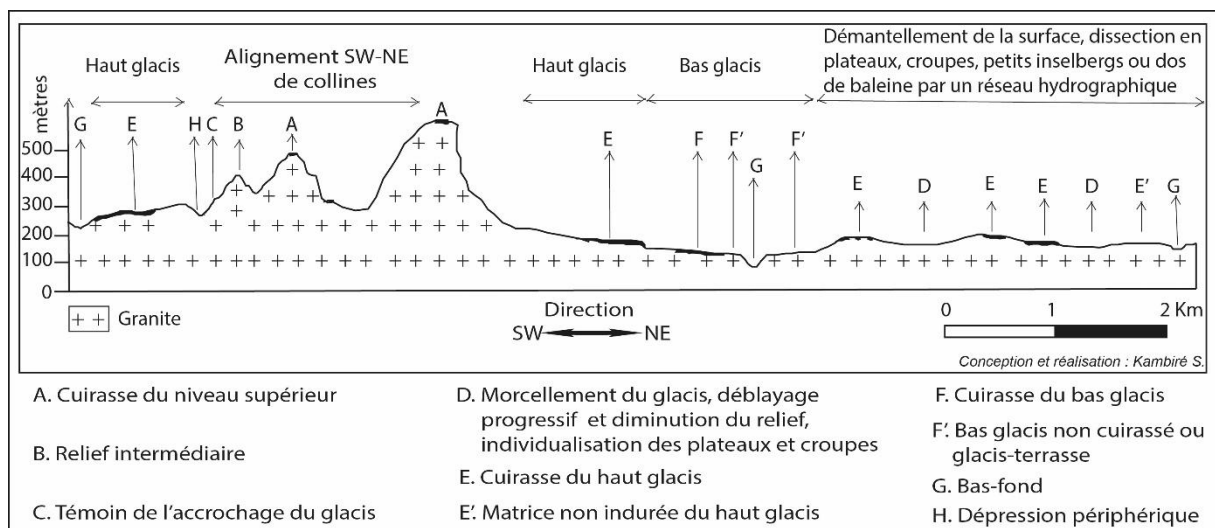


Figure 2 : Géométrie de l'horizon morphologiques du secteur Ounangakaha

Source : Photographies aériennes CIGN-2023

2.2.1. Les niveaux de reliefs plus anciens

- Le relief intermédiaire (B)

C'est le compagnon, des plus habituels, des hautes altitudes bauxitiques précédentes. Ces paysages s'insinuent généralement entre les surfaces cuirassées supérieures, participant à la marqueterie locale. Il s'agit d'une série de buttes, d'altitude maximum de 450 m. Leur position morphologique, en contrebas du haut niveau cuirassé et en surplomb du hautglacis, les assimile à des reliefs intermédiaires. En général, ces reliefs ne sont guère marqués par les indurations ferrugineuses. De nombreux gravillons ferrugineux sont, néanmoins, observés au pied de ces reliefs et les environs de la cote 350 à 400 laissent apparaître localement des caractères de cuirassement ferrugineux. Ce qui permet d'entrevoir la présence d'une ancienne surface cuirassée correspondant à ces reliefs intermédiaires.

- Le haut glacis (E)

Un haut glacis s'accroche soit directement au haut niveau cuirassé, soit au relief intermédiaire vers l'altitude 300 m. Le matériau induré est plus ou moins affleurant. La cuirasse de structure vacuolaire et d'aspect hétérogène, est plus ou moins démantelée. Le stock de matériaux granitiques et cuirassés altérés, issu des reliefs de niveau supérieur, migre le long des glacis.

- Les plateaux, croupes et petits inselbergs

De nombreux bas-fonds et entailles perpendiculaires (G), morcellent le haut glacis en lanières. Ils forment une zone de vallons, à versants raids et à fonds relativement plats, de collines subaplanies et de petits plateaux ou croupes (E et E'). En général gravillonnaires, avec des galets épars, ces formes sont aussi protégées le plus souvent par des lambeaux de cuirasse. L'horizon (D) est marqué par des témoins de décrochement à ses extrémités.

- Le bas glacis

Certains bas glacis, de par le types de démantèlement et la nature des matériaux'expliquent difficilement dans les conditions morphoclimatiques actuelles.

Ils sont formés au bas du haut glacis par démantèlementdu systèmeprécédent.Un manteau plus ou moins puissant,fait de colluvions et d'alluvions sablo-limoneuses souvent indurées, le recouvre.Cependant cette cuirasse ou carapace apparaît peu épaisse et discontinue.

Dans le détail, l'observation de fosses pédologiquesdans ce bas glacispermet de mettre en évidence :

en surface (0 à 2 m) : des carapaces scoriacéesconstituées à partir de sables en grande partie et accessoirement d'éléments limoneux et graveleux à peine cimentés.

#Au-delàde 2 m des graviers de petit calibre, peu usés, en lentilles, qui présentent des inclinaisons de l'ordre de 19 à 25°, semblent posés sur des graviers grossiers plus usés.Ilsalternent avec des lentilles, des gravillons et des sables. Le matériel siliceux est certes dominant.Mais la nature pétrographique est très variable. Ce quiindique des apports latéraux importants et un engorgement du fond de vallée.

Localement ce bas glacis présente d'anciens bourreletsde berge.

Dans sa genèse, l'altération et l'érosion ont dû provoquer une descente du niveau de base, attestée dans le bas glacis par des plaques de cuirasse du niveau haut glacis mises en inversion de relief.

La forme est marquée parla surimposition d'un réseau de chenauxinstables, du type anastomosé,entre des bancs de sables et de galets. Ce qui implique d'une part un important transport en nappe, d'autre part une prédominance de l'érosion mécanique. Mais aussi elle est disséquée par de nombreux types d'entaille (entaille subséquente aval, médiane, amont ; entaille conséquente).

2.2. Morphogenèse sous les climats actuels et subactuels et les formes hérités

2.2.1. Conditions climatiques offertes à la morphogenèse

Le régime climatique est du type tropical à court hivernage, caractérisé, à la fois, par des totaux pluviométriques des plus faibles en Côte d'Ivoire et par une saison sèche plus longue et plus accentuée.

Ce régime est esquissé, dans le nord, par Ferkéssédougou. Le total moyen annuel des pluies, entre 1961 et 2016, est de l'ordre de 1151 mm, avec des maxima en octobre (environ 94,9 mm) et des minima en janvier (0,6mm).

D'un point de vue de la variabilité climatique, la région de Korhogo a connu une baisse des précipitations moyennes annuelles (figure 3), chiffrée à environ 7%. Ce qui lui vaut de passer d'un climat très humide dans les années 1950-1960 à des décennies plus sèches et irrégulières depuis 1970.

L'évolution annuelle des pluies et des températures, comme le montre la figure, met en évidence trois phases par rapport à la moyenne interannuelle à partir des années 1960 :

- de 1961 au début des années 1970, une phase historiquement humide est accréditée d'une pluviométrie régulière et abondante et des températures moins chaudes ;

- à partir du milieu des années 1970, s'amorce une phase de rupture climatique majeure en Afrique de l'Ouest. La région de Korhogo traverse une récession pluviométrique.Le déficit pluviométrique est persistant et les événements très humides deviennent rares ;

- de 2000 à 2016,la tendance à la baisse des précipitations annuelles se poursuit. Elle s'associe à une forte irrégularité interannuelle et à des températures plus chaudes.Les années présentent

des extrêmes, oscillant entre des épisodes de sécheresse sévère (2000-2006) et des pluies diluviennes soudaines provoquant des inondations (comme en 2007).

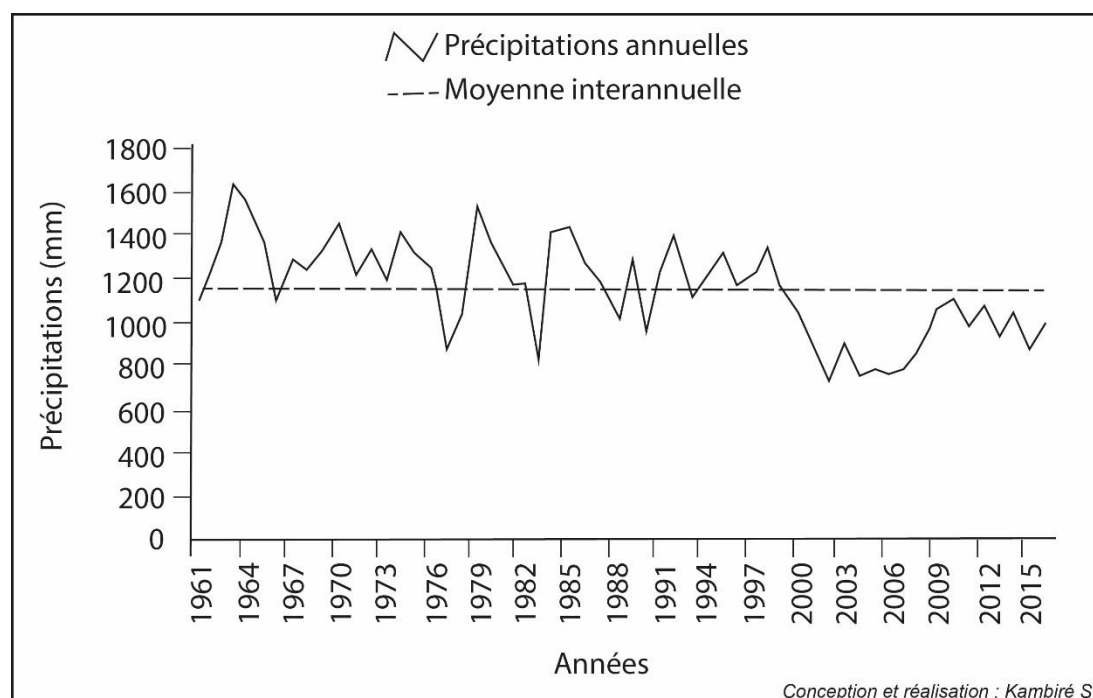


Figure 3 : Tendance des précipitations annuelles en région de Korhogo

Source : SODEXAM

2.2.2. Types de processus morphogéniques

Des chiffres sont cités dans le tableau I qui montrent l'efficacité des processus et des systèmes d'érosion, encore appelés morphogéniques.

Tableau I : Processus morphogéniques et débits solides (en millier de kg) dans les niveaux de la séquence cuirassée d'Ounangakaha

Type de paysage	Type de surface	Pente (%)	Pluie< 60 mm/h				Pluie > 60 mm/h				Aspect et coef. duruis.
			CR	Débits solides			CR	Débits solides			
				DH	H	Tot		DH	H	Tot	
Haut relief à sommet cuirassé	Sommet cuirassé	1-2,1	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	0,5	0,3	0,8	D-C
	Versant	34-40	0,36	19	17	36	0,41	23	19	42	C
	Replat	1- 2,9	0,12	8	12	20	0,3	12	15	27	D-C
	Knick	36-48	0,4	33*	27*	60*	0,6	39*	33*	72*	C
Relief intermédiaire	Sommet globuleux	26-35	0,2	0,5	0,3	0,8	0,4	0,8	0,4	1,2	D-C
	Versant	26-35	0,34	18	14	32	0,4	23	18	41	C
	Knick	31-38	0,3	32*	26*	58*	0,5	37*	29*	65*	C
Niveau haut glacis	matrice indurée	7-28	0,2	4	7	11	0,4	9	11	20	D-C
	matrice non indurée		0,1	15	11	26	0,3	20	15	35	
Niveaux de topographie basse	Bas glacis	5-3	0,3	8*	6*	14*	0,6	11*	8*	19*	
	Bas-fond	1-2	0,3	35*	39*	74*	0,6*	39*	43*	82*	
	Entaille	8-30	0,4	21*	17*	60*	0,7	29*	22*	51*	C

CR = coefficient de ruissellement ; DH = Début d'hivernage, H = hivernage ; D = diffus ; C = concentré. Les nombres accompagnés du signe « * » expriment un bilan sédimentaire positif et les autres, un bilan négatif.

Source : Travaux de terrain, 2021-2025

Le premier caractère rigoureux des processus résulte du fait que les averses fournissent un ruissellement important : le coefficient de ruissellement (CR) est de 0,1 à 0,4 pour des pluies d'intensité inférieure à 60 mm/h et 0,2 à 0,7 pour des pluies d'intensité supérieure 60 mm/h. Le phénomène affecte plus gravement la base des reliefs d'altitudes plus ou moins prononcées (le knick des hauts reliefs à sommet cuirassé ou des reliefs intermédiaires) et les petites vallées (bas-fonds et entailles linéaires). Le CR, de l'ordre de 0,4 à l'occasion des averses inférieures à 60 mm/h, peut atteindre 0,7 pendant les pluies d'intensité supérieure à 60 mm/h.

Il n'est pas certain que l'importance du coefficient de ruissellement corresponde à la raideur de la pente. Car sur les pentes abruptes des hauts reliefs à sommet cuirassé et des reliefs intermédiaires, ce coefficient ne dépasse guère 0,4 sans doute parce que, eu égard au fort peuplement arborescent, l'infiltration y est particulièrement importante.

Mais les types de ruissellement semblent bien déterminés par la pente. Dans les sommets cuirassés ou globuleux des reliefs de hautes altitudes, la pente est faible, guère supérieure à 3%. Une zone de ruissellement diffus commence par des mares coalescentes pendant les averses violentes. Elle passe ensuite à un balayage en nappe ruisselante. En général il y a concentration en surface des quartz et des gravillons ferrugineux qui peuvent être déplacés. Dans les replats et bas-fonds, les pentes sont équivalentes. Les mêmes types de ruissellement se réalisent ou héritent des ruissellements amorcés dans les niveaux de topographie supérieure.

Dans les versants, de part et d'autre du faite, ainsi que les knicks, glacis et entailles hydrographiques, des pentes fortes peuvent se maintenir (8 à 48%). Des différences dans les types de ruissellement apparaissent en fonction du matériau pédologique : ruissellement diffus sur pente cuirassée, concentré sur pente lithique ou non indurée. Dans les entailles, une zone de ruissellement concentré correspond à un lit individualisé au fond colluvio-alluvial sableux, argileux ou limoneux.

Diffus ou concentré, le ruissellement prend une importance géomorphologique qui s'appuie sur les averses violentes du début de l'hivernage. En début de saison des pluies, l'érosion par ruissellement a été si importante qu'elle a produit des débits solides 4 fois plus élevés que ceux produits loin en avant dans l'hivernage sur l'ensemble des niveaux de la séquence cuirassée étudiée.

2.2.3. Phénomènes de rupture d'équilibre et évolution actuelle du modelé

2.3.1. Phénomènes de crise morphogénique, de rupture d'équilibre

Le tableau I, précédent, a montré que l'érosion par ruissellement s'exerce avec des différences de détail dans les unités de paysage et les facettes topographiques de la séquence cuirassée. Les nombres accompagnés du signe « * » expriment un bilan sédimentaire positif et les autres, un bilan négatif.

Ces différences, dans les modes de façonnement, représentent en fait une évolution différente. Celle-ci tend évidemment à différencier l'évolution des interfluves en deux grands domaines.

Un domaine d'agression mécanique est caractérisé par une dynamique érosive et trans-érosive des milieux.

Le système d'ablation consiste en un balayage, par ruissellement diffus en concurrence avec le ruissellement concentré, des quartz, gravillons ferrugineux et en une solifluxion pelliculaire. L'intensité des ablations, varie d'un milieu à un autre. Une zone d'agression mécanique faible correspond à la haute surface cuirassée des altitudes élevées, au sommet des reliefs intermédiaires et au glacis cuirassé. Les débits solides mesurés ne dépassent pas 20 kg/s

sous averse supérieure à 60 mm/h. Par contre, une zone d'agression plus intense intéresse les versants des collines (hauts reliefs à sommet cuirassé et reliefs intermédiaires) : les matériaux emportés atteignent 36 kg/s sous pluies inférieures à 60 mm/h et 42 kg/s sous averse inférieures à 60 mm/h.

Un domaine d'altération chimique et de pédogenèse s'oppose au précédent. La dynamique des milieux est plutôt essentiellement accumulative et trans-accumulative. Il correspond au knick, au bas-fond et à l'entaille hydrographique. Le bilan sédimentaire dans ces milieux est positif et très important. Il peut atteindre 74 kg/s sous averse inférieures à 60 mm/h et 82 kg/s dans les conditions d'averse supérieures à 60 mm/h.

2.3.3. Morphogénèse

La morphogénèse actuelle dérive principalement de l'incision et du démantèlement du niveau haut glaciaire.

Elle est largement conditionnée par les processus offerts par le climat humide à saisons contrastées.

La restitution verticale des paysages de la séquence cuirassée d'Ounangakaha et de leur morphologie (figure 3), ainsi que les éléments du démantèlement de la surface permet d'observer les évolutions plus récentes. On peut insister sur trois unités particulières qui dérivent de l'incision et du démantèlement actuels de la surface topographique :

- l'apparition de nouveaux bas glacis

Une nouvelle unité morphologique se met en place qu'il est sans doute abusif d'appeler glacis et qui n'est caractéristique en tant que tel des anciens bas glacis.

- Une première forme de cette unité correspond à une entaille qui détermine les rebords du haut glacis, en l'absence du moyen glacis, et des anciens bas glacis. Elle s'élabore par affouillement et surcreusement de la base des systèmes de glacis précédents grâce aux eaux de résurgence en concurrence avec le déchaussement progressif par turbulence des eaux de ruissellement. Des blocs ou pansentiers de cuirasse se débitent par rupture de gravité successive. Le nouveau bas glacis qui se forme ne fait que prolonger la berge actuelle d'un bas-fond sableux et dans lequel se mêlent les apports latéraux et longitudinaux. Ce recouvrement d'un manteau de colluvions grossières et d'alluvions sablo-limoneuses est le plus souvent indurées. La cuirasse ou carapace apparaît peu épaisse, discontinue et fortement disséquée.

Ce bas glacis est encore fonctionnel. Car d'un côté, il manifeste encore, vers lui, un transit de fer, à partir des colluvionnements fins provenant des cuirasses anciennes, et son soutirage, sur place, des éléments de démantèlement de la cuirasse. De l'autre côté, il existe une évacuation par le réseau hydrographique des hydroxydes de fer et leur piégeage dans les fonds sableux ou dans la zone de battement des nappes.

Cet apport de fer, d'origine diverse, permet la poursuite de l'induration du nouveau bas glacis dont l'élaboration ne peut qu'être encore partielle.

- Une variante de cette forme est un bas glacis non cuirassé (F') ou glacis-terrasse. Cette unité s'intercale entre le haut glacis et l'ancien bas glacis. Elle est marquée par la forte présence des quartz subarrondis. Des éléments ferrugineux des niveaux cuirassés supérieurs apparaissent nombreux et de taille centimétrique. Les vacuoles présentent le plus souvent une fine pellicule d'oxyde de fer. L'induration est moindre ou absente dans le manteau de colluvions et d'alluvions sablo-limoneuses plus ou moins épais.

Dans l'ensemble, ce nouveau bas glacis est intensément disséqué puis colmaté par des apports polyphasés.

La présence des quartz subarrondis dans ce glacis non cuirassé semble indiquer que l'on est ici à la limite entre les formations alluviales et le haut glacis, sans solution de continuité, c'est-à-dire une surface mixte ou unique polygénique comportant des apports transversaux et latéraux (alluviaux et colluviaux).

- Une autre forme de nouveau bas glacis apparaît à la base des hauts reliefs à sommet cuirassé et reliefs intermédiaires. Il se développe lorsque le haut relief d'altitude présente une pente moins forte vers la base et qu'une rochedure, y affleurant, se raccorde en oblique avec le haut glacis. Le modelé apparaît comme un simple glacis à pente forte, formant un angle plus ou moins prononcé avec le pied du haut relief. A l'aval, ce glacis domine un bas-fond, sans lit individualisé, de quelques dizaines de mètres de large, à l'altitude 310 m. Cette partie aval du modelé peut être cuirassée et présenter un rebord brutal à l'occasion d'entailles directes par le ruissellement concentré. Partiellement remblayées par du matériel colluvial, ces entailles correspondent, dans certains cas, à la berge actuelle du lit mineure saisonnier.

Aux abords du haut relief, subsistent des témoins de l'accrochage du glacis (D) d'altitude 330. Le matériel est morphologiquement très semblable à celui du Haut glacis (F). Ce qui témoigne d'une extension plus large de la cuirasse du haut glacis qui devait s'incliner en pente douce (1 à 5 %) de part et d'autre de la ligne du bas glacis actuel.

- l'apparition d'une dépression à la périphérie des hauts reliefs d'altitude

Les différences dans les modes de façonnement au pied des hauts reliefs d'altitude déterminent une autre unité que le bas glacis précédent.

La base des hauts reliefs est un domaine d'accumulation. L'érosion fournit un épais manteau de produits meubles. Mais cette zone est aussi un milieu très humide collectant les eaux de ruissellement qui dévalent les versants abrupts sans grande solution d'infiltration. Le manteau de dépôts colluviaux maintient l'humidité et permet une poursuite plus intense de l'altération sous son couvert.

Ainsi, le colluvionnement et l'altération se combinent pour mettre à disposition de l'érosion une éponge à modeler.

L'incision du manteau de matériel ameubli laisse apparaître une zone relativement déprimée (H) qui sépare le glacis cuirassé du versant des hauts reliefs dont provient le matériel.

L'évolution est attestée, comme précédemment, par un témoin de l'accrochage du haut glacis (C).

La dépression périphérique n'est jamais continue. Sur photographie aérienne, elle prend une forme en « croissant tronqué » ou en « corne » qui s'articule autour d'un talweg d'ordre I.

Le modelé va, ainsi, parfois jusqu'à un véritable drainage subséquent ; elle demeure, le plus souvent, une gouttière non drainée mais volontiers marécageuse.

Au fond de la dépression, s'observe un cône de piedmont à matériel hétérométrique. De part et d'autre de la dépression, s'observent, entre le noyau central rocheux et la dépression, un matériel de versant peu épais sur pente forte et entre la dépression et la partie aval du versant, un haut glacis cuirassé (E) à pente relativement forte et à matériel anguleux.

Ici, comme dans les unités précédentes, il se manifeste un transit de fer, des niveaux de cuirasses supérieures, vers la dépression marécageuse. A ce transfert de fer en minerai s'ajoute l'évacuation de fer en solution des profondeurs et son piégeage dans les formations colluviales. Les deux phénomènes collaborent à l'induration, localisée, de la dépression.

4. Discussions

4.1. Signification géomorphologiques des climats actuels et subactuels

Cette étude a mis en évidence trois phases de l'évolution annuelle des pluies et des températures depuis la moitié du vingtième siècle. A une phase d'humidité historique depuis 1961, voire les années 1950, succède une phase de rupture climatique majeure à partir du milieu des années 1970 marquée par un déficit pluviométrique persistant et d'événements très humides devenus rares. Puis, à partir de 2000, prévaut une phase de tendance à la baisse des précipitations annuelles où les années présentent des extrêmes, variant entre des épisodes de sécheresse sévère et des pluies diluviennes.

La répartition des pluies est toutefois plus intéressante à considérer, pour son rôle sur la morphogénèse, que le volume global des précipitations.

Ce rôle géomorphologique s'appuie sur les variations saisonnières du métabolisme des végétaux. Le couvert végétal joue un rôle d'écran très différent en fonction des saisons climatiques notamment en région de savane.

La densité du couvert pendant l'hivernage étale les précipitations et le coefficient de ruissellement s'en trouve diminué. Dans le même temps, l'écoulement se ralentit et le décalage entre les averses et les crues augmente. Ce qui implique un effet de freinage par la densité végétale, voire également un écoulement hypodermique supérieur. Tels sont les observations faites par Tricart J. et Cailleux A. (1965) dans des bassins expérimentaux en forêts mésophiles aux environs de Man, à l'ouest de la Côte d'Ivoire, et en savane dans les parages de la Flakoho dans la région de Ferké au nord.

Au contraire, dès la fin de l'hivernage, le sol se dessèche et avec lui les herbes dont les feuilles jaunissent et qui deviennent par la suite la proie du feu. C'est également l'époque des plus fortes variations de température puis que la végétation n'arrive plus à les atténuer. Ces caractères s'accroissent en avance dans la saison sèche.

Puis les premières averses de la saison humide suivante déclenchent sur un sol très peu protégé. Une véritable crise morphogénétique saisonnière est en relation avec le début de l'hivernage. Le sol, en effet, desséché et protégé au minimum, est particulièrement sujet à l'érosion et au ruissellement. Les résultats chiffrés attestent cette crise morphogénétique saisonnière : 36 kg/s de matériaux emportés sous pluies d'intensité inférieure à 60 mm/h, avec un coefficient de ruissellement de 0,3 et 42 kg/s de débits solides à l'occasion d'averses d'intensité supérieure à 60 mm/h, avec coefficient de 0,41.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Tricart et Cailleux (1965) dans le bassin de la Flakoho. Ces derniers ont montré que des averses de 90-100 mm/h fournissent un ruissellement de 20 - 25 %.

4.2. Preuves de formations actuelles

Les fortes oscillations saisonnières et le ruissellement déterminent des mécanismes originaux dans les zones déprimées : vallées, bas-fonds ou base des hauts reliefs d'altitude. Celles-ci sont caractérisées par une submersion saisonnière. Ce qui permet un détrempage du sol, une altération et un cuirassement importants qui offrent des conditions d'évolution en bas glaciais, glaciais-terrasses et dépression drainées ou marécageuses cernant les hauts reliefs d'altitude.

Ces unités en zones basses, qui viennent se superposer sur un héritage déjà existant et permanent, apparaissent généralement fonctionnelles. Elles témoignent l'existence actuelle d'un

transit du fer des cuirasses anciennes vers elles et l'évacuation par le réseau hydrographique, son piégeage dans les dépôts colluviaux et/ou alluviaux ou dans la zone de battement des nappes et ne peuvent être qu'actuelles et encore partielles.

Ces bas glacis, glacis-terrasses, comme les dépressions périphériques drainées ou marécageuses, ne sont pas des formes de relief spécifique dans la région de Korhogo. Ils se retrouvent dans les régions chaudes à saison sèche accentuée. Rougerie G. (1961), Tricart J. et Cailleux A. (1965) les décrivent, avec des différences de détail, dans les régions de Boundiali de Séguéla et Michel P. (1969) dans les régions sèches voisines et dans les pays chauds et humides : Sénégal par exemple.

Le premier auteur les identifie à des phénomènes relativement mineurs dont la marque ne sera pas conservée à long terme dans le paysage.

Conclusion

On ne peut nier qu'une part très importante des bas glacis, comme les glacis-terrasses et les dépressions à la périphérie des hauts reliefs de commandement, revient aux oscillations paléoclimatiques dans leur genèse.

En particulier, les bas glacis cuirassés plus ou moins démantelés ont dû être élaborés, comme les hauts glacis, sous des climats plus secs ou du moins à saisons plus alternées.

Certains glacis, glacis-terrasses et dépressions sur le pourtour de certains massifs sont néanmoins actuels ou subactuels.

Ils se façonnent par entaille ou ruissellement en nappe et montrent l'existence actuelle d'une mobilisation du fer, des cuirasses de niveau supérieur vers elles, ainsi que l'évacuation par le réseau hydrographique, des hydroxydes de fer, leur piégeage dans les dépôts colluviaux et/ou alluviaux ou dans la zone de battement des nappes.

L'évolution a pu être réalisée entre les niveaux anciens observés en particulier au contact de la cuirasse ancienne ou de la lithosphère où les agents d'érosion expriment leur efficacité. C'est que le système bioclimatique actuel n'est que bien peu morphogénique alors qu'il est plus efficacement pédogénique.

Références bibliographiques

Arnould M., 1963. Carte géologique de reconnaissance au 1/500.000 - Feuilles Katiola Est et Ouest (Esquisse provisoire), Direction de la Géologie et de la Prospection Minière n° 1 - Abidjan

Birot P., 1958. *Morphologie structurale*, Tome I. Structure statique ; formes structurales élémentaires, tome II. Types d'évolution du relief ; théories orogéniques, 2 vol. de 464 p., 100 fig., Paris, Presses universitaires, collection Orbis

Boulet R., 1968. Etude pédologique de la Haute-Volta, Région centre-nord. ORSTOM, Dakar, multigr. 351 p.

Couture R., 1961, Carte géologique de reconnaissance au 1/500.000 - Feuille d'Odienné (Esquisse provisoire).

Daveau S., Lamotte M., Rougerie G., 1962. Cuirasses et chaînes birrimiennes en Haute-Volta, *Ann. de Géogr.* sept-oct. LXXXI, 387

Faure M., Elouard P., 1967. Schéma des variations du niveau de l'océan atlantique sur la côte de l'ouest africain depuis 40 000 ans. C. R. Acad. Sci. Paris, D. 265, 784 -787

- Kambiré S., Sékongo P. M., 2025. Impact du changement climatique sur la dynamique des cuirasses ferrugineuses à Karakoro (Nord de la Côte d'Ivoire), Actes du 38ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Abomey-Calavi sur le thème : Climat, Agriculture, Ressources en Eau, Tourisme et Développement, N° spécial Revue Climat et Développement, p.448-452
- Lamotte M., Rougerie G., 1952. Coexistence de trois types de modelés dans les chaînes quartzitiques du Nimba et de Simandou (Haute-Guinée Française). *Annale de Géogr.* t. 328, L X I, pp. 432-442.
- Lamotte M., Rougerie G., 1961. Les niveaux d'érosion intérieurs dans l'Ouest Africain. *Recherches Africaines*, Conakry, n° 4, p. 51-70
- Leneuf M., 1959. L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire Forestière et les sols qui en sont dérivés. Th. Sc. Paris, ORSTOM, 210 p.
- Leclerc J.C., Richard-Molard J., Lamotte M., Rougerie G., Porteres R., 1955. La chaîne du Nimba. Essai géographique. Mém. IFAN Dakar, 43, 3, 217 p.
- Leneuf M., 1959. L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire Forestière et les sols qui en sont dérivés. Th. Sc. Paris, ORSTOM, 210 p.
- Maynard J., 1965. Région de Korhogo, Etude de développement socio-économique. Rapport pédologique, ORSTOM-Paris, 161 p.
- Michel P., 1968. Genèse et évolution de la vallée du Sénégal de Bakel à l'embouchure (Afrique Occ.) *Zeitsch. géomorph.*, vol. 12, n°3, pp, 318-349.
- Michel P., 1969. Les grandes étapes de la morphogénèse dans les bassins des fleuves Sénégal et Gambie pendant géomorph., vol. 12, no 3, pp, 318-349.
- Millot G., 1964. Géologie des argiles. Masson éd. Paris, 499 p.
- Nahon Danielle, Demoulin Dominique, 1970. Essai de stratigraphie relative des formations cuirassées du Sénégal occidental. C. R. Acad. Sci. Paris, D, 270 : 2764-2767.
- Rougerie G. 1960. Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire Forestière, Mém. IFAN, n° 58, 542 p.
- Tessier F., 1965. Les niveaux latéritiques du Sénégal. *Ann. Fac. Sci. Marseille*, 37, pp. 221-237.
- Tricart J. et Cailleux A., 1965. Le modelé des régions chaudes (forêts et savanes) *Traité de Géomorph.* T, V, SEDES-Paris, 322 p.

UNDER PEER REVIEW IN IJAR