

# L'ÉROSION PLUVIALE SUR DES SOLS CAILLOUTEUX DU NORD-EST DU NIGERIA ET SUR LES SOLS SABLO-LIMONEUX DU SITE ARCHÉOLOGIQUE DE LA KAMOA AU ZAÏRE.

par

M. Moeyersons \*

## ABSTRACT

Splash erosion has been considered as an important factor in slope evolution. Most attention has been paid up to now to splash erosion on sandy, loamy and clayey soils. Observations in the granitic area of the northern piedmont plains of the Shebshi Hills (N.E. Nigeria), and recent experimental research have shown that splash erosion affects also gravelly soils. During rain, the fine particles are quickly deported by both raindrop and rainwash action. This results in the development of a residual and protective granite grus micropavement on the top of the soil. The much slower ablation rate determines finally the total ablation rate on a slope section.

Experimental data, combined with accurate rainstorm registrations, provide estimations on annual rates of transport on granite grus slopes in North-Eastern Nigeria. The sedimentation on a 25 m concavity at the foot of a 6° slope is of the order of 0,03 cm/year.

C<sup>14</sup>-datations in the sandy soils of the archaeological site of the Kamoa (South-Eastern Zaïre) indicate the same rate of sedimentation on identical slopes.

## 1. INTRODUCTION.

L'érosion pluviale agit essentiellement par trois mécanismes fondamentaux : l'enlèvement, le transport et le dépôt de particules. Les ingénieurs agronomes ont compris, depuis plusieurs décades, l'importance de l'énergie cinétique, libérée par la chute des gouttes de pluie, dans les phénomènes d'enlèvement et de transport (W.D. ELLISON, 1944 ; W.D. ELLISON et C.S. SALTER, 1949 ; P.C. EKERN, 1950 ; D.S. McINTYRE, 1958 ; W.C. MOLDENHAUER et J. KOSWARA, 1968). L'importance de l'érosion par le splash dans les processus, déterminant l'évolution des versants, est reconnue aussi par les géomorphologues, qui ont essayé d'analyser les facteurs qui régissent cette forme d'érosion (J. DE PLOEY, 1967, 1971, 1974 ;

\* Section de Géologie Générale, Musée Royal de l'Afrique Centrale, 1980 TERVUREN, Belgique.

J. DE PLOEY et J. SAVAT, 1968 ; R. BRYAN, 1974). Ces analyses ont mis en évidence le type de splash, faisant migrer des particules et des agrégats de sable et de silt par saltation. Tout récemment, on a pu démontrer que des sols caillouteux se prêtent aussi bien que des sols sableux, à l'érosion par le splash (J. MOEYERSONS, 1975 a ; J. MOEYERSONS et J. DE PLOEY, 1976).

Ce travail a pour but de définir les principes de l'érosion par le splash sur des arènes granitiques et ensuite, de définir la vitesse de sédimentation au pied d'un talus de plateau pour des arènes granitiques et ceci dans un climat correspondant à celui du Nord-Est du Nigéria. Finalement, une comparaison sera faite avec la vitesse de sédimentation sur des sables Kalahari remaniés dans le Sud-Est du Zaïre, où règne un climat comparable.

## 2. LE MECANISME DU SPLASH SUR DES SOLS CAILLOUTEUX.

Le mécanisme du splash sur des sables Kalahari remaniés a été décrit par J. DE PLOEY et J. SAVAT (1968) et J. DE PLOEY (1969, 1974). Selon ces auteurs, un ruissellement discontinu et faible agit pendant les averses sur les sables des collines autour de la plaine de Kinshasa ; l'enlèvement et le transport des particules s'effectuent essentiellement par le mouvement de saltation, causé par l'impact des gouttes de pluie. Sur un plan horizontal, la direction de la saltation est quelconque et l'amplitude des sauts se situe autour d'une seule valeur moyenne. Sur un plan incliné, la distance des sauts se concentre autour de deux moyennes : celle d'un saut de haut en bas et celle d'un saut de bas en haut. Le second est plus faible, d'où il résulte un transport vers le bas de la pente.

De nouvelles expériences ont été réalisées cette fois sur des sols caillouteux, provenant des plaines septentrionales des Monts Shebshi au nord-est du Nigéria, afin d'étudier le mécanisme du splash et l'effet du ruissellement sur le déplacement des graviers. Des arènes granitiques ont été soumises simultanément à un ruissellement diffus créé artificiellement et à des pluies simulées. Les sols caillouteux qui ont été utilisés dans les expériences, ont la composition granulométrique suivante : gravier (2 mm - 2 cm), 56 % ; sable (0,063 mm - 2 mm), 24 % ; silt (0,002 mm - 0,063 mm), 16 % ; argile (moins de 0,002 mm), 4 %. Grâce aux expériences, faites au moyen d'un simulateur de pluie (J. MOEYERSONS, 1975 a), on peut à présent décrire ce processus.

Lorsqu'un échantillon d'arène ayant la texture mentionnée ci-dessus, est exposé à une pluie simulée ou au ruissellement ou encore aux deux, les particules d'argile, de silt et de sable, qui se trouvent à la surface, sont évacuées très rapidement. Leur transport se fait par une combinaison des forces érosives des gouttes de pluie et du ruissellement. Les graviers d'un

diamètre de plus de 0,5 cm. trop lourds pour subir ces types de transport, restent isolés à la surface, formant ainsi une mince "stone-line" continue, qui protège la couche sous-jacente et arrête l'éluviation superficielle. Ainsi le degré de dénudation dépend uniquement des mouvements que subissent les graviers. Ceux-ci se déplacent par de petits chocs causés par l'impact des gouttes.

La direction de ce mouvement de reptation est quelconque sur un plan horizontal; sur un plan incliné, cette reptation par le splash provoque un transport vers le bas de la pente. A l'aide de graviers peints, les distances parcourues par des graviers de la nappe superficielle ont été mesurées à plusieurs reprises. Pendant une pluie simulée et en l'absence de ruissellement, la vitesse de reptation par le splash ( $r_{CR}$ ) peut être exprimée comme suit (J. MOEYERSONS et J. DE PLOEY, 1976) :

$$r_{CR} = 0,35 I_S 10^{0,0376 (\alpha - 8)} \quad (1)$$

où  $I_S$  = l'intensité de la pluie simulée (mm/h)

$\alpha$  = la pente, exprimée en degrés

$r_{CR}$  = la distance moyenne en cm, parcourue par les graviers pendant une heure.

Les expériences ont montré aussi l'importance du débit de ruissellement pour la valeur de  $r_{CR}$ . Des arènes granitiques du même type que mentionné plus haut, ont été placées dans un bac, pourvu d'un réservoir d'où un ruissellement diffus pouvait être créé. Les résultats, repris dans la fig. 1 pour une valeur  $I_S$  de 60 mm/h, montrent que sur une pente déterminée et pendant une intensité constante de pluie simulée, la vitesse de reptation  $r_{CR}$ , après un accroissement rapide qui est fonction de l'augmentation du débit de ruissellement, se stabilise autour d'une valeur-limite. En augmentant encore le débit, on observe qu'au-dessus d'une certaine valeur les graviers commencent à rouler, mouvement dont la force d'impact des gouttes n'est plus le moteur.

Vu l'importance du débit de ruissellement pour la connaissance de  $r_{CR}$ , on a essayé de calculer l'évolution du débit de haut en bas sur des pentes rectilignes de 3°, 6°, 10° et 20° et pour des intensités de pluie simulée ( $I_S$ ) de 30 mm/h et de 120 mm/h. Pour ces calculs, des expériences ont été faites à l'aide d'un bac dont le fond était perforé afin de créer un drainage libre, ce qui permettait de mesurer :

- A. le débit de l'eau qui tombait sur l'échantillon par pluie simulée.
- B. le débit de ruissellement, créé en amont de la section, représentée par l'échantillon.
- C. le débit de ruissellement atteignant l'extrémité inférieure du bac.
- D. le débit de l'eau qui s'infiltrait.

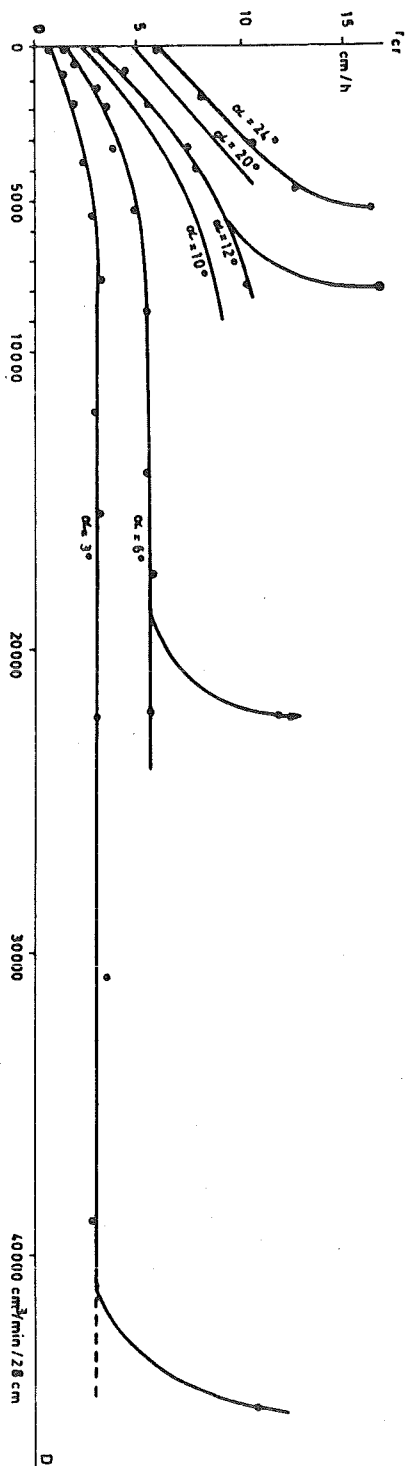


Figure 1 : L'influence du débit de ruissellement (D) sur la vitesse des graviers, bougés par le mouvement de reptation par la pluie.

Lorsque le système est en équilibre, et si on fait abstraction de la perte négligeable d'eau par éjection, il faut que  $A + B = C + D$ . On a toujours constaté que :

- 1)  $D < A$  pour des petites valeurs de B
- 2)  $D > A$  pour des valeurs plus élevées de B
- 3)  $D = A$  pour une valeur déterminée de B (V), V étant différent pour les huit cas qui ont été mesurés.

On peut extrapoler ces conclusions au cas d'une pente rectiligne, soumise à une pluie simulée constante, où le débit va tendre vers une valeur limite V. A partir des fonctions de régression  $D = f(A + B)$  (J. MOEYERSONS, 1975a), on peut calculer le débit en chaque point de cette pente. Dans chaque cas, le

$$D = V \left( 1 - 0,5 \frac{3,7 I_s X}{V} \right) \quad (2)$$

où D = le débit en  $\text{cm}^3/\text{min}/28 \text{ cm}$  (la largeur du bac expérimental)

V = le débit en  $\text{cm}^3/\text{min}/28 \text{ cm}$  pour lequel  $D = A$

$I_s$  = l'intensité de la pluie simulée (mm/h)

x = la distance de la crête en mètres.

Sur une pente linéaire, on peut considérer  $r_{\text{CR}}$  comme une fonction linéaire de D, puisque les valeurs de V ne dépassent jamais  $7.500 \text{ cm}^3/\text{min}/28 \text{ cm}$  (J. MOEYERSONS, 1975a), ce qui sur la fig. 1, est une valeur, très basse de D.

A partir de ces fonctions linéaires, on a pu établir une formule, permettant de calculer  $r_{\text{CR}}$  en chaque point d'une pente rectiligne pour des valeurs  $I_s$  de 30 mm/h et de 120 mm/h (J. MOEYERSONS et J. DE PLOEY, 1976). Ainsi on obtient pour un point à 50 m de la crête et sur une pente de  $6^\circ$  que

$$r_{\text{CR}} = 0,95 \text{ cm/h pour } I_s = 30 \text{ mm/h}$$

$$r_{\text{CR}} = \pm 10 \text{ cm/h pour } I_s = 120 \text{ mm/h.}$$

La nappe résiduelle de gravier peut être considérée comme une couche d'une épaisseur de 1 cm. Cette estimation est valable dans le cas des graviers qui ont été soumis à l'expérience.

### 3. ESTIMATION DE LA VITESSE DE SEDIMENTATION ANNUELLE AU PIED D'UNE PENTE DE 6° DANS LE NORD-EST DU NIGERIA

Une grande partie des plaines de piémont au nord des Monts Shebshi (Nord-Est du Nigéria) est recouverte d'un manteau d'arène granitique du type qui est mentionné plus haut. L'épaisseur de la couche varie de 50 cm à 350 cm. Les arènes se poursuivent sur les flancs de montagne, où elles disparaissent graduellement. Elles sont considérées comme des particules, détachées par l'érosion pluviale du sol saprolitique et déposées dans la plaine. Le matériau plus fin est transporté jusque dans les vallées, où il forme un manteau qui contient des argiles noires tropicales.

En l'absence de datations, on a essayé d'estimer la quantité de graviers déposés par an à la base d'une pente de 6°, qui aboutit sur un glacis subhorizontal. Cette forme de terrain ne se présente pas très souvent dans la région, mais cet exemple est utile pour la comparaison qui va être faite plus loin.

Les estimations sont basées sur la comparaison entre l'énergie cinétique, produite par une pluie simulée et celle, produite par les pluies naturelles en un an. On a obtenu une bonne approximation de cette dernière valeur par la méthode suivante : pendant la saison des pluies de 1972, on a enregistré dans la région des pluviogrammes détaillés de sept pluies (fig. 2).

Le principe d'enregistrement était basé sur le chronométrage du temps pendant lequel un volume d'eau connu tombait sur une surface connue. Chaque pluviogramme consiste donc en une série de rectangles de même surface, la base indiquant le temps, la hauteur indiquant l'intensité moyenne, avec laquelle les volumes unitaires sont tombés. On a utilisé la formule de W.H. WISCHMEIER et D.D. SMITH (1958)  $Y = 916 + 331 \log_{10} X$  pour calculer l'énergie cinétique, produite par chaque volume unitaire. Dans cette formule,  $Y$  = énergie cinétique en fort ton par inch de précipitation.

$X$  = l'intensité de pluie, exprimée en inch/heure.

Les sept pluies (en total 110,7 mm) ont libéré une énergie cinétique totale de 2.859.250 erg/cm<sup>2</sup>, dont 48,55 % pendant des intensités en dessous de 30 mm/h et 51,45 % pendant des intensités plus grandes. Dans la région étudiée, la précipitation moyenne annuelle est de 1000 mm (M.G. BAWDEN et P. TULEY, 1966). On peut donc estimer que l'énergie cinétique annuelle est de l'ordre de 25.800.000 erg/cm<sup>2</sup>, dont 13.274.100 ergs seraient produits pendant les intensités au-dessus de 30 mm/h et 12.525.900 ergs pendant les intensités plus faibles.

Le simulateur de pluie qui a été utilisé pour déterminer  $r_{cr}$ , produit toujours des gouttes de même dimension (diamètre 4,2 mm). En plus, par suite de la hauteur restreinte de l'appareil, l'énergie cinétique produite pen-

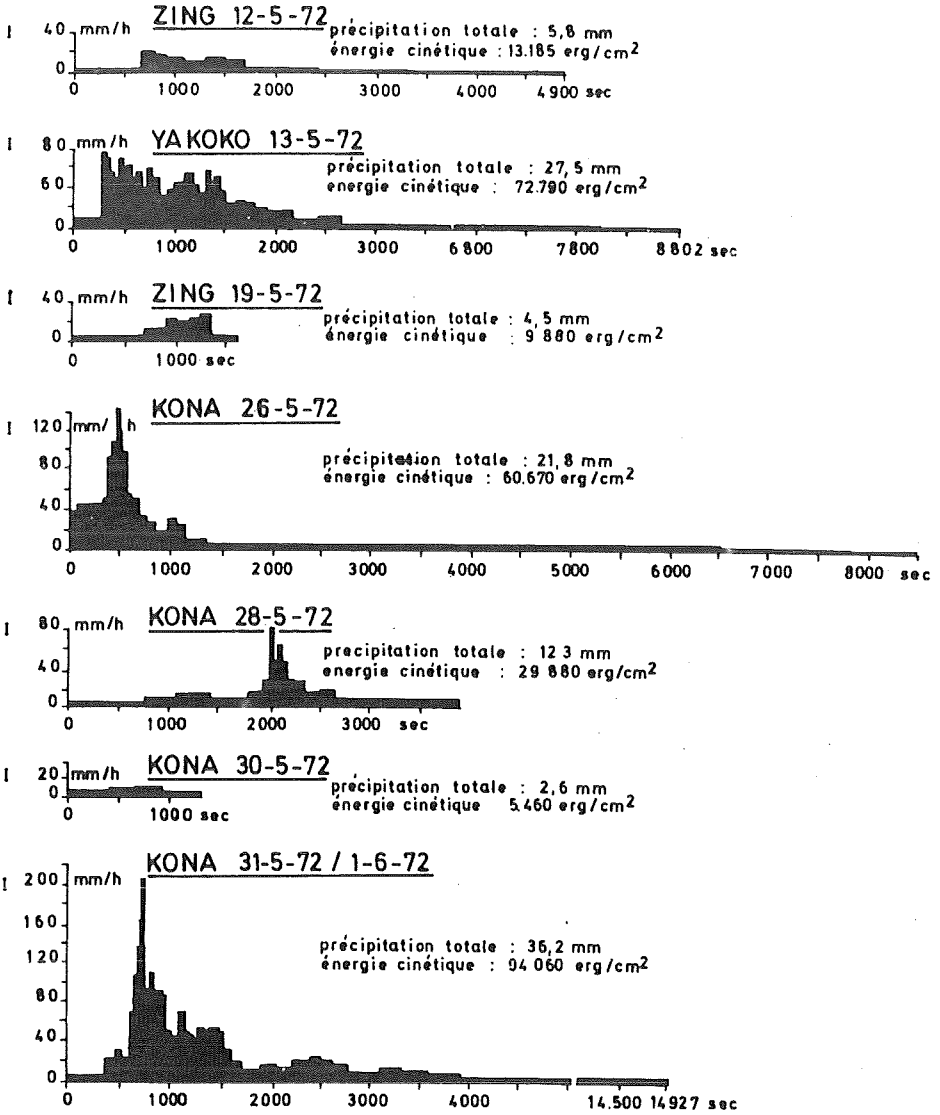


Figure 2 : Les pluviogrammes de sept pluies, enregistrées dans les plaines de piémont septentrionales des Monts Shebshi (Nord-Est du Nigéria).

tant une pluie simulée est nettement inférieure à celle produite pendant une pluie naturelle de la même intensité. Au point de vue énergétique une pluie simulée d'une intensité de 30 mm/h, vaut une pluie naturelle d'une intensité de 25 mm/h, les deux ayant la même durée :

$$E I_s (30 \text{ mm/h}) = E I_n (25 \text{ mm/h})$$

de même:  $E I_s (120 \text{ mm/h}) = E I_n (80 \text{ mm/h})$

Si on veut simuler une saison des pluies à l'aide des intensités simulées de 30 mm/h et de 120 mm/h, il est indiqué de produire par la simulation ( $I_s = 120 \text{ mm/h}$ ) l'énergie cinétique produite par les intensités naturelles supérieures à 30 mm/h et par la simulation ( $I_s = 30 \text{ mm/h}$ ) les intensités naturelles inférieures à 30 mm/h. Le simulateur donne toujours une énergie de  $18.911 \text{ erg/cm}^2$  par millimètre de précipitation, indépendante de la valeur  $I_s$ . L'énergie cinétique libérée durant une saison des pluies peut être reproduite par :

$$\frac{13.274.100}{18.911 \times 120} = 5,85 \text{ heures} = 351 \text{ minutes de } I_s = 120 \text{ mm/h}$$

et  $\frac{12.525.900}{18.911 \times 30} = 22,08 \text{ heures} = 1325 \text{ minutes de } I_s = 30 \text{ mm/h}$

ou un total de 27,93 heures de simulation. On peut admettre que les pluies naturelles d'une saison des pluies durent au total plus de 120 heures. Les pluviogrammes indiquent que de ces 120 heures de pluie, il y en a au moins 90 durant lesquelles l'intensité de pluie est plus basse que 5 mm/h. Ces pluies ne produisent qu'une très petite fraction de l'énergie cinétique totale. Il n'est donc pas étonnant que 27,93 heures de simulation valent toute une saison des pluies.

Les chiffres obtenus jusqu'ici permettent de calculer la distance moyenne parcourue par les graviers sur une pente de  $6^\circ$ . Cette distance est égale à :  $5,85 \times 10 \text{ cm/h} + 22,08 \times 0,95 \text{ cm/h} = 79,48 \text{ cm}$ . Si on accepte que la nappe de graviers a une épaisseur de 1 cm, ce qui est un minimum, on peut s'attendre à une accumulation annuelle de  $7948 \text{ cm}^3$  au pied d'une pente de  $6^\circ$ , longue de 50 m et large de 1 m, sous le climat du Nord-Est du Nigéria. Si la transition entre la pente de  $6^\circ$  et le glacis est faite par une concavité de 25 m de longueur, la sédimentation moyenne serait de l'ordre de  $0.031 \text{ cm/an}$ . Il faut mentionner que le coefficient d'interception par la végétation est très bas.



#### 4. LA VITESSE DE SEDIMENTATION AU PIED D'UNE PENTE DE 6° AU SITE ARCHEOLOGIQUE DE LA KAMOA (Sud-Est du Zaïre)

Le site archéologique (D. CAHEN, 1975) est localisé (10°24'55" S et 25°9'19" E) dans la vallée de la Kamoia, à hauteur de la traversée de la rivière par la route Kamina-Kolwezi. La Kamoia, affluent de la Lufupa, coule dans une vallée, large de quelque 200 m et profonde de quelque 20 m, creusée dans la partie sud-est du plateau de Kamina, qui s'élève autour du site à une hauteur de 1050 à 1100 m.

A l'endroit du site, le substrat géologique est formé par la tillite du Grand Conglomérat. Cette formation glaciaire précambrienne suit l'allure générale du cours supérieur de la Kamoia (J. LEPERSONNE, 1974). A 100 m en aval du site, la tillite disparaît sous des formations cénozoïques. A hauteur du site, la bande de tillite est plus large que la vallée et se poursuit sous le plateau. Celui-ci est couvert d'un manteau de sables ocre remaniés du Kalahari supérieur.

La stratigraphie dans la vallée, à l'endroit du site, a été étudiée par J. MOEYERSONS (1975b). La tillite est surmontée d'une double nappe de gravats : la partie inférieure consiste essentiellement en matériau résiduel de la tillite, les cailloux ayant un diamètre moyen de plus de 5 cm. La partie supérieure consiste en galets roulés et allochtones, d'un diamètre moyen de 2-3 cm. Au-dessus de ces *stone-lines* superposées, on trouve un, parfois deux, paquets de sable. Le paquet inférieur (Sables Ocre Remaniés I : S.O.R.I) est humifère et se retrouve dans les creux, formés dans la surface de la tillite, surmontée par la double nappe de gravats. Le paquet supérieur (S.O.R.II), séparé de l'inférieur par une *micro-stone-line* discontinue, recouvre toute la vallée et atteint à certains endroits une épaisseur de 4 à 5 mètres.

Les S.O.R. I et les S.O.R. II, quoique les premiers soient légèrement plus argileux, ont tous les deux des caractéristiques texturales, morphoscopiques et minéralogiques qui se situent entre celles des sables du plateau et celles de la tillite. Par conséquent, les S.O.R. I et II sont considérés comme des colluvions, dérivées des sables du plateau. Ils se sont mélangés partiellement pendant leur transport du bord du plateau vers la vallée avec les produits de désagrégation de la tillite.

La limite nette entre les deux paquets et le fait que les deux paquets montrent localement des structures laminaires sont des indications que la bioturbation n'a pas joué très fortement à l'endroit du site. Comme mécanisme important de transport des sables du plateau vers la vallée, on pense surtout à l'érosion par le splash, telle que décrite par J. DE PLOEY (1969)

pour le Bas-Zaïre. En considérant le fait que les S.O.R. I et II ont une texture qui ne diffère pas essentiellement des sables des collines autour de la plaine de Kinshasa, on peut avancer deux arguments qui militent en faveur de l'hypothèse du splash dans la vallée de la Kamoia :

1. Dans la vallée de la Kamoia, on constate un granoclassement latéral qui ressemble à celui, observé par J. DE PLOEY (1969) dans la plaine de Kinshasa.
2. Dans la plupart des coupes, les S.O.R. I et II sont des unités bien séparées, chacune d'elle étant toutefois homogène. Comme on peut exclure une très grande activité biologique, qui pourrait être un facteur d'homogénéisation, on peut admettre un processus discontinu comme le splash, pour expliquer l'apport de sables dans la vallée de la Kamoia.

Dans le cadre d'une étude archéologique, 9 datations au  $C^{14}$  de différents niveaux ont été faites dans 6 tranchées. Les profondeurs de la prise d'échantillon et les datations sont reprises en annexe. Elles permettent de calculer pour le site une vitesse moyenne de sédimentation de 0.034 cm/an, avec des valeurs extrêmes de 0.018 cm/an et de 0.043 cm/an. On peut accepter que la valeur moyenne est valable pour une concavité de 20 à 30 m de longueur qui relie une pente de  $6^\circ$  avec un glacis subhorizontal.

## 5. CONCLUSIONS

La vitesse de sédimentation le long d'une section concave au pied d'un versant de  $6^\circ$  paraît identique dans deux régions différentes de l'Afrique, caractérisées par des sols différents : dans le premier cas, il s'agit de sols sablo-limoneux du site archéologique de la Kamoia, dans le Sud-Est du Zaïre, dans l'autre cas de sols caillouteux, dans les plaines de piémont septentrionales des Monts Shebshi dans le Nord-Est du Nigéria. En raison de la différence des sols, les processus diffèrent : sur des sols sablo-limoneux de la Kamoia, la saltation est le moyen de transport prédominant, par contre, dans le Nord-Est du Nigéria, les graviers se déplacent par un mouvement de reptation qui est influencé en outre par le ruissellement.

Les seuls points communs des deux sites semblent être une végétation arbustive ouverte avec des herbes espacées et une précipitation totale annuelle comparable :  $\pm 1000$  mm/an au Nigéria et presque 1200 mm/an à la Kamoia (F. BULTOT, 1954).

Il est évident que l'érosion pluviale, bien que peu spectaculaire, est une forme d'érosion efficace. Par la comparaison des deux régions, il paraît évident que l'érosion pluviale est aussi efficace sur des sols caillouteux que sur des sols sablo-limoneux.

ANNEXE :

1°) Tranchée K.70 A.32

- 70 cm de profondeur, échantillon Kamao 11 :  
1.850 ± 100 B.P. Sédimentation : 0.038 cm/an

- de 80 à 90 cm de profondeur, échantillon Kamao 13 :  
2.690 ± 40 B.P. Sédimentation : 0.032 cm/an

- à 125 cm de profondeur, échantillon Kamao 12 :  
3.840 ± 100 B.P. Sédimentation 0.033 cm/an

2°) Tranchée K.70 A.37

- de 65 à 70 cm de profondeur, échantillon Kamao 10 :  
1.850 ± 100 B.P. Sédimentation 0.036 cm/an

3°) Tranchée K.69 I

- de 55 à 65 cm de profondeur, échantillon Kamao 1 :  
1.840 ± 35 B.P. Sédimentation 0.034 cm/an

- de 82 à 100 cm de profondeur, échantillon Kamao 2 :  
2.705 ± 35 B.P. Sédimentation 0.034 cm/an

différence moyenne de profondeur : 15 cm  
différence moyenne d'âge : 840 ans  
sédimentation : 0.018 cm/an

différence moyenne de profondeur : 40 cm  
différence moyenne d'âge : 1150 ans  
sédimentation : 0.034 cm/an

différence moyenne de profondeur : 31 ans  
différence moyenne d'âge : 865 ans  
sédimentation : 0.036 cm/an

4°) Tranchée K.70 A.48

- de 170 à 180 cm de profondeur, échantillon Kamao 9 :  
6.025 ± 70 B.P. Sédimentation 0,029 cm/an.

5°) Tranchée K.70 B.26

- 170 cm de profondeur, échantillon Kamao 15 :  
4.235 ± 100 B.P. Sédimentation : 0.040 cm/an

6°) Tranchée K.70 B.27

- à 180 cm de profondeur, échantillon Kamao 8 :  
4.170 ± 55 B.P. Sédimentation 0,043 cm/an.

*Les dates, les profondeurs et la localisation des tranchées sont communiquées dans D. CAHEN (1975).*

## BIBLIOGRAPHIE

- BAWDEN, M.G. ; STULEY, P. (1966) - The land resources of Southern Adamawa Provinces, Northern Nigeria. *Land Resource Study*, n° 2, Tolworth, England, 120 p.
- BRYAN, R. (1974) - Water erosion by splash and wash and the erodibility of Albertan soils. *Geografiska Annaler*, v. 56, pp. 150-181.
- BULTOT, F. (1954) - Nota bij de kaart der klimatische zonen van Belgisch-Congo en Ruanda-Urundi. *Algemene Atlas van Congo*, Brussel.
- CAHEN, D. (1975) - Le site archéologique de la Kamoia, (Région du Shaba, République du Zaïre). *Ann. Mus. Roy. Afr. Centr., Série Sciences Humaines*, n° 84, 350 p.
- DE PLOEY, J. (1967) - Erosion pluviale au Congo Occidental, in *Isotops in Hydrology*. Int. Atomic. En. Ag. (IAEA), Vienne, pp. 291-301.
- DE PLOEY, J. (1969) - L'érosion pluviale : expériences à l'aide de sables traceurs et bilans morphogénétiques. *Acta Geographica Lovaniensia*, v. 7, pp. 1-28.
- DE PLOEY, J. (1974) - Mechanical properties of hillslopes and their relation to gullying in Central semi-arid Tunisia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl. Bd. 21, pp. 177-190.
- DE PLOEY, J., SAVAT, J. (1968) - Contribution à l'étude de l'érosion par le splash. *Zeitschrift für Geomorphologie*, t. 12, pp. 174-193.
- EKERN, P.C. (1950) - Raindrop impact as the force initiating soil erosion. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, v. 15, pp. 7-10.
- ELLISON, W.D. (1944) - Studies in drop erosion. *Agr. Eng.*, v. 25, p. 131.
- ELLISON, W.D. ; SALTER, C.S. (1949) - Factors that affect surplace sealing and infiltration capacity of exposed soil surfaces. *Agr. Eng.*, v. 26, pp. 158-162.
- LEPERSONNE, J. (1974) - Carte géologique du Zaïre, échelle 1 : 2.000.000me et Notice explicative. Bruxelles.
- Mc INTYRE, D.S. (1958) - Soil splash and the formation of surface crusts by drop impact. *Soil Sc.*, v. 85, pp. 185-189.
- MOEYERSONS, J. (1975a) - An experimental study of pluvial processes on granite gruss. *Catena*, Giessen (sous presse).
- MOEYERSONS, J. (1975b) - Evolution paléogéographique du site de la Kamoia, in D. Cahen. Le site archéologique de la Kamoia, République du Zaïre. *Ann. Mus. R. Afr. Centr., Série Sci. Hum.* 1975.
- MOEYERSONS, J. ; DE PLOEY, J. (1976) - Quantitative data on splash erosion, simulated on unvegetated soils. *Zeitschr. für Geomorphologie*, Suppl. Bd. - Slope modelling processes (sous presse).
- MOLDEHAUER, W.C. ; KISWARA, J. (1968) - Effect of initial clod size on characteristics of splash and wash erosion. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, v. 32, pp. 875-879.
- WISCHMEIER, W.H. ; SMITH, D.D. (1958) - Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Un.*, v. 39, pp. 285-291.

## DISCUSSION

### O. Slaymaker :

- 1) Can you explain your conclusion that erosion is similar on such different materials as gravel and silty sand ?
- 2) Is it possible that the precipitation intensities over short-time periods were different at the two sites ?

### J. Moeyersons :

- 1) On the Kalahari sands, run-off is not important, and transport is mainly caused by saltation. On granite grus, run-off increases the reptation rate.
- 2) It is possible. Accurate measurements on the Kamoia site are not available. However, the total annual rainfall in both areas is not very different. Both sites are situated roughly at the same distance of the tropical rainforest, the Kamoia site in the austral hemisphere, the studied area in Nigeria in the northern one.

### G.E.K. Ofomata :

- 1) What do field observation and measurement show in the case of N.E. Nigeria, especially when your laboratory experiment is based on an hypothetical 6° slope and on controlled conditions of rainfall ?
- 2) How is it possible for the effects of splash erosion to be the same on gravelly soil and on soils composed of sandy silt ?

### J. Moeyersons :

- 1) Before the work in laboratory started, some incomplete measurements were already done in the field. The measured distances seem to be higher than those in the laboratory, so that there is certainly no overestimation. Measurements in the field and in the laboratory of  $r_{CR}$  are done on a range of slopes from 3° to 20°.
- 2) Sur les sables poreux, le ruissellement me semble être un facteur très important. Sur les arènes, j'ai montré que le ruissellement fait augmenter la vitesse de reptation. Cette différence peut, à mon avis, expliquer pour une grande part que la vitesse de sédimentation est du même ordre de grandeur sur ces deux types de sol.

**J. Savat :** La vitesse de sédimentation semble indiquer que le splash était le seul agent d'érosion qui ait causé un dépôt dans la vallée de la Kamoia ?

**J. Moeyersons :** Je crois que, à la Kamoia, le splash est le mécanisme le plus important. Comme les sables sont très poreux, le ruissellement n'a pas dû influencer très fortement la vitesse de sédimentation dans la vallée.