

Erodabilité des terrains sableux du Zaïre et contrôle de l'érosion

Xavier D. VAN CAILLIE

Géologue hydrologue conseil indépendant, 14 drève de la Marmotte, B - 1328 Ohain - Belgique

RÉSUMÉ

Certains sols du Zaïre sont constitués de sables fins à moyens, que l'action anthropique a rendus fortement érodables, du fait de la modification du couvert végétal originel. L'érosivité des pluies déterminée par différentes formules est comparée à l'évolution du niveau de sol mesurée dans une série de microparcelles témoins. Il est tenu compte des incidents observés au niveau de la végétation, de l'action de la microfaune et des marques dues au ruissellement concentré ainsi que du rôle de la pente et de l'environnement des parcelles.

La mesure des érosions, ablations, accumulations et mobilité, est bien corrélée avec certains indices d'érosivité classiques comme ceux de Hudson et de Wischmeier, tandis que les incidents relevant du ruissellement concentré ne sont bien corrélés qu'avec l'intensité moyenne individuelle des pluies.

L'érodabilité moyenne globale de l'ensemble des microparcelles témoins est chiffrée à — 0,74 cm/an, soit — 118 t/ha.an.

Assurer une couverture complète et continue du sol constitue le seul moyen efficace de lutter contre l'érosion. Les moyens mis en œuvre par les populations réussissent le plus souvent à résoudre les problèmes ponctuels. La lutte antiérosive doit encore se réaliser au niveau de l'organisation des paysages.

MOTS-CLÉS : Erosion des terrains sableux — Erosivité — Contrôle des érosions — Zaïre occidental.

ABSTRACT

ERODABILITY OF SOME SANDY SOILS IN ZAIRE, EROSION CONTROL

Many soils in Zaïre are composed of fine to medium sands. The change of vegetation cover by human activities increases their pronenes to erosion. Rain erosivity, as expressed by various equations has been compared with the evolution of the ground level at a number of small experimental plots. The effects, due to the vegetation, microfauna, concentrated runoff, slope and environmental factors have been taken in account.

The "denudation", "accumulation" and "mobility" rates relate well to known erosivity indices as the Hudsons' and Wischmeiers' ones. The effect of wash is only well correleated to the mean intensity of individual rainstorms.

The mean surface lowering, as recorded in the parcels, equals — 0,74 cm/year, which corresponds to 118 tons/hectare.year.

Erosion control can only become effective through the establishment of a complete and continuous vegetation cover. Efforts done by the people suffice generally to solve very local problems. But efforts have to be made in order to organize soil conservation in the landscape as a whole.

KEY WORDS : Sandy erosions — Erosivity — Erosion control — Western Zaïre.

RESUMEN

CAPACIDAD DE EROSIÓN DE LOS SUELOS ARENOSOS EN EL ZAIRE, CONTROL DE LA EROSIÓN

La mayor parte de los suelos del Zaire occidental se constituyen por arenas finas y medias que han sido erosionados por el hombre debido a la modificación de la cobertura vegetal original. El carácter erosivo de las lluvias determinado por diferentes fórmulas se compara con la evolución del nivel del suelo medida en una serie de micro-parcelas testigos. Se toman en cuenta los efectos observados en la vegetación, la micro-fauna y las huellas debidas a la escorrentía concentrada así como el rol de la pendiente y del ambiente de las parcelas.

La evaluación de las erosiones : ablaciones, acumulaciones y movilidad está bien correlacionada con algunos índices erosivos clásicos como los de Hudson y Wischmeier, mientras que los efectos que dependen de la escorrentía concentrada están bien correlacionados sólo con la intensidad individual media de las lluvias.

La capacidad de erosión media global del conjunto de las micro-parcelas testigos se evalúa en — 0,74 cm/año, o sea — 118 t/ha año.

El único medio eficaz para luchar contra la erosión consiste en que el suelo tiene una cobertura completa y continua. Los medios utilizados por las poblaciones consiguen las más de las veces resolver los problemas puntuales. La lucha anti-erosiva debe todavía llevarse a cabo al nivel de los paisajes.

PALABRAS CLAVES : Erosión de los suelos arenosos — Carácter erosivo — Control de las erosiones — Zaire occidental.

INTRODUCTION

Entre 1974 et 1982, nous avons étudié les phénomènes d'érosion dans la région de Kinshasa. Des observations d'ordre qualitatif ont été complétées par des mesures de niveau du sol et une analyse des pluviogrammes de deux années hydrologiques : 1975-76 et 1977-78.

Le milieu naturel originel, représenté par des reliquats de forêts denses ou claires, ne présente pas de trace d'érosion. Celle-ci apparaît lorsque les parties amont des versants sont mises en cultures généralement suivies de feux répétés. Le ruissellement démarre alors à l'amont des versants. Il est rapidement suivi d'une concentration des écoulements dans un réseau tout d'abord diffus, mais qui s'inscrit ensuite de manière à former un microrelief permanent. Ces axes d'écoulement en amont génèrent des rigoles et du ravinement dans la partie aval plus pentue des versants, même si cet aval a gardé sa végétation protectrice d'origine.

Nous présentons ici les résultats d'une analyse quantitative des phénomènes ainsi que la synthèse d'observations de type qualitatif. Les thèmes présentés reprennent un certain nombre d'éléments d'un travail qui peut être consulté par ailleurs (VAN CAILLIE, 1983) :

1. la nature des sols, 2. les mesures de niveau du sol, les indices d'érosion et la synthèse des observations,
3. les relations entre les variations des indices d'érosion et celles des indices d'érosivité, le bilan des érosions,
4. observations qualitatives, les types d'érosion, le rôle de la pente et de la végétation, 5. le contrôle de l'érosion, 6. conclusions.

LA NATURE DES SOLS

Suivant leur position morphologique, les sols ont pour origine des formations géologiques dont l'âge est soit secondaire, soit tertiaire. Ces formations sont respectivement constituées de grès tendres et de sables fins, dont la teneur en argile varie entre 5 et 30 %. Leur altération a donné naissance à des sables fins variés, parfois argileux (5 à 12 % < 63 microns), jaunes, bruns ou rougeâtres, de perméabilité moyenne (k en laboratoire = 4.10^{-4} à 5.10^{-3} cm/s, soit 14,4 à 180 mm/h), qui ont constitué la « roche mère » des sols. L'altération de cette « roche mère » et les remaniements successifs lors des variations climatiques quaternaires ont engendré la mosaïque des sols actuels (voir notamment : DE PLOEY, 1965 et 1969).

Dans les zones de fortes pentes, là où le substratum d'âge secondaire est quasi affleurant, les sols d'altération sont jeunes et plus fertiles. Ils contiennent en effet de l'illite et de la montmorillonite, dont la capacité d'échange ionique est nettement plus élevée que celle des argiles kaoliniques des formations tertiaires en place. Ces sols sont recherchés pour leur haute productivité, mais leur site implique un risque d'érosion car la pente dépasse fréquemment 20 %.

Lessivés depuis des millénaires, les sols des plateaux sont pauvres en éléments nutritifs. Leur entraînement par les eaux de ruissellement a provoqué une ségrégation spatiale des éléments fins qui n'ont pu se déposer que dans des conditions de calme absolu, dans les marécages des bas-fonds. Les particules plus grossières ont

constitué les sols résiduaux des versants et les alluvions des terrasses et des cours d'eau actuels. La granulométrie moyenne (d50) de ces alluvions est de 300 microns. Leur coefficient d'uniformité, $U (d60/d10) = 1,9$ à $2,1$, est élevé.

En dehors des versants vifs, la plus grande partie des sols de la région est donc constituée de sables fins à moyens dont les caractéristiques sont comprises dans les limites suivantes (VAN CAILLIE, 1983) :

- granulométrie : d50 : 125 à 250 micromètres,
d10 : > 63 micromètres,
- cohésion nulle : $< = 5 \text{ kN/m}^2$,
- angle de frottement interne élevé : de 10° à plus de 30° ,
- « bonne » perméabilité au perméamètre à charge constante :
 $k = 4.10^{-3}$ à 1.10^{-2} cm/s , soit 144 à 360 mm/h,
- eau de rétention faible : 10 à 25 % en volume,
- teneur en humus faible à très faible,
- densité sèche élevée : 16 kN/m^3 .

La bonne perméabilité de ces sols associée à l'exposition au soleil et au vent favorisent leur dessèchement rapide quand ils sont dénudés. Sans cohésion, ils n'offrent alors aucune résistance à l'entraînement par les eaux de ruissellement. Gorgés d'eau, ils sont aisément sapés par les eaux courantes.

Dans ce climat tropical humide où la saison sèche dure en moyenne 117 jours par an, les pluies annuelles moyennes sont de 1 350 mm et les extrêmes mesurés compris entre 881 et 1 639 mm.

L'analyse de la distribution de l'ensemble des pluviophases, pour chacune des deux années hydrologiques et pour leur ensemble a permis d'établir que :

- 46 % des quantités d'eau sont tombées avec une intensité supérieure à 24 mm/h,
- 11,5 % avec une intensité supérieure à 84 mm/h,
- 50 % des pluviophases ont dépassé 24 à 30 mm/h.

2,5 % des pluies sont tombées avec une intensité de plus de 144 mm/h. Or, nous avons vu que la perméabilité des sols sableux est comprise entre 144 et 360 mm/h. La capacité d'infiltration théorique est donc dépassée pour 2,5 % des pluies annuelles. Le ruissellement devrait alors s'installer indépendamment de la présence d'une couverture végétale.

Dans les versants sur substratum secondaire, les sols argileux, moins perméables (14,4 mm/h), engendrent du ruissellement pour 61 % des pluviophases tombées annuellement.

LES MESURES DE NIVEAU DU SOL, LES INDICES D'ÉROSION ET LA SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS

Le dispositif de mesure a évolué d'une année à l'autre. Le dernier en date est représenté sur la figure 1. Une station de mesure est formée par quatre piquets en bois implantés dans le sol à 50 cm de profondeur. Chaque piquet est muni d'un dispositif de calage destiné à recevoir une planchette amovible. Cette planchette, en Multiplex épais, est perforée de trous permettant le passage d'un fil à plomb arasé à sa base ($\pm 20 \text{ mm}^2$), de manière à atteindre le sol à plat.

Les trous sont marqués du côté à partir duquel la mesure est systématiquement effectuée. Le fil est reporté sur une latte graduée stable. Chaque mesure est répétée pour éliminer les erreurs. La précision est de $\pm 1 \text{ mm}$. Les mesures sont effectuées à distance des piquets, de manière à éviter leur influence. Chaque station comporte huit points de repère, dont quatre sont situés à une distance ne dépassant pas 20 cm l'un de l'autre.

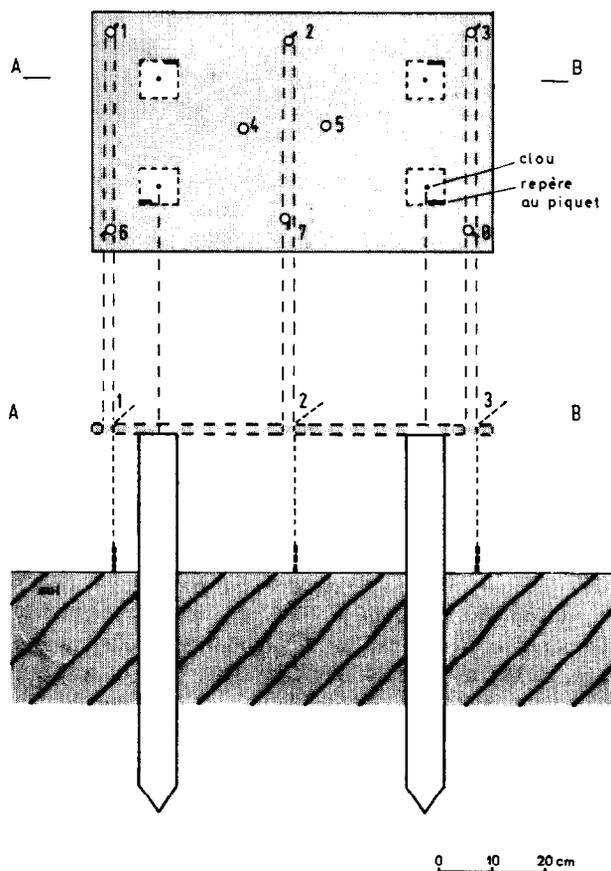


FIG. 1. — La station type de mesure de niveau du sol en 1977-78 (en plan et en coupe).
Typical station of soil level measurement.

Les mesures ont été effectuées après des épisodes pluvieux importants. La planchette est retirée après chaque mesure. Les incidents sont notés : pousse de végétations, remaniements dus à des animaux, traces de ruissellement en nappe ou concentré (entailles, rigoles, micromarches), traces d'impact de la pluie, etc.

Les 24 stations ont toutes été implantées sur des sols sableux. Les sites des stations ont été choisis soit dans des parcelles bâties (PB), soit en « terrain naturel » (TN), c'est-à-dire en dehors des zones d'habitat (tabl. I). L'ensemble est représentatif des paysages de la région au point de vue de la couverture végétale, de l'importance de la pente ou de la situation en relation, ou non, avec des apports d'eau provenant de l'amont, à l'exclusion des sols argileux dont l'extension est d'ailleurs limitée dans la région.

Les figures 2, 3 et 4 montrent les variations du niveau du sol mesurées aux stations n° 2, 5 et 17.

Les indices d'érosion suivants ont été définis :

- la tendance : la différence entre deux mesures successives par rapport au point de repère fixe de la planchette,
- l'ablation : la baisse du niveau du sol,
- l'accumulation : la hausse du niveau du sol,
- la tendance maximale : le mouvement le plus important mesuré à une station.

Le synchronisme des évolutions de certains points est très net, à la hausse comme à la baisse. D'autres points montent et descendent, ce qui nous a amené à définir l'indice de mobilité en un point (I_m) comme étant la somme de toutes les tendances en valeur absolue en ce point. I_{mm} est la moyenne des indices I_m pour l'ensemble des repères d'une station. L'évolution de cet indice rend compte de l'érodibilité du sol et de son aptitude au déplacement par les eaux de ruissellement, tant au niveau de la station que de l'environnement amont.

La « tendance réelle globale » (Trg) pour un point d'une station est la différence entre la première et la dernière mesure de l'année hydrologique. La « tendance réelle moyenne » (Trm) pour une station est la moyenne des Trg de tous les repères de la station.

Le tableau I reprend l'ensemble des stations et leurs caractéristiques, ainsi que les tendances réelles moyennes, en cm/an, qui ont été converties en t/ha.an, pour une densité sèche moyenne de 1,6, valeur généralement mesurée pour les sols sableux de la région. En divisant Trm par l'indice d'érosivité EI30 (WISCHMEIER et SMITH, 1968), en valeur $R(m)$ (soit 1 004,14 $R(m)$ en 1975-76 et 752,79 $R(m)$ en 1977-78), on obtient une approximation de l'érodabilité (k') du terrain, étant donné la relative homogénéité de composition des sols des différentes stations.

La mobilité moyenne (I_{mm}) de l'ensemble des stations : 5,04 cm/an fut 3,2 fois plus élevée que la ten-

dance absolue moyenne (Tam) qui était égale à 1,58 cm/an. La Tam d'une station est la somme des valeurs absolues des tendances réelles globales (Trg), divisée par le nombre de repères de la station. En d'autres termes, la tendance absolue moyenne (Tam), ablations et accumulations considérées comme équivalentes, représente moins du tiers de l'ensemble des mouvements observés dans les stations pour l'ensemble des périodes.

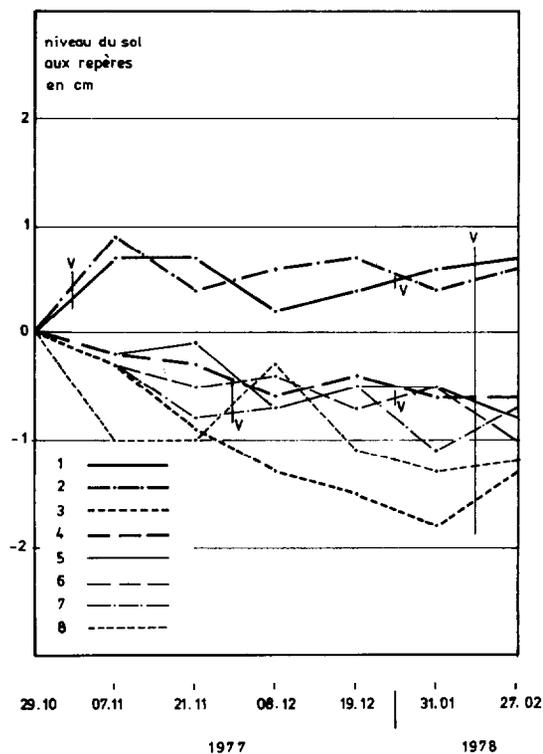


FIG. 2. — Evolution du niveau du sol à la station n° 2, en 1977-78.

Soil level evolution at the station n° 2.

3. LES RELATIONS ENTRE LES VARIATIONS DES INDICES D'ÉROSION ET CELLES DES INDICES D'ÉROSIVITÉ, LE BILAN DES ÉROSIONS

L'érosivité des pluies a été calculée à partir de différentes formules pour les années hydrologiques 1975-76 et 1977-78, années durant lesquelles des mesures de niveau du sol ont été effectuées par divers auteurs (ISP-GOMBE, 1976-1978).

Les indices d'érosivité qui ont donné les meilleurs coefficients de corrélation avec les érosions observées, sont :

- EI30 (WISCHMEIER et SMITH, 1978),
- TKE (> 25) de Hudson (in MORGAN, 1979),
- l'intensité moyenne de chaque pluie.

TABLEAU I
Les principales caractéristiques des sites des stations
Main characteristics of station sites

n°	site	apport d'amont	pente moyenne	Trm cm	k' t/ha	Imm t/ha.R(m)	Tam cm	formes de ruissellement	
1	PB	+/-	4 - 11 %	- 0,74	- 118,4	0,16	3,15	0,74	nappes + filets d'eau
sol nu									
2	TN	0	5 - 9	- 0,54	- 86,4	0,11	1,45	0,86	0
litière dans savane arbustive									
3	TN	+	9 - 16	- 0,67	- 107,2	0,14	1,51	0,67	nappe
sol nu sous arbustes serrés									
4	PB	+/-	9 - 11	- 2,76	- 441,6	0,59	5,24	2,76	nappe
sol nu sous un manguier									
5	PB	+	2	+ 4,10	+ 656,0	-	7,15	4,10	nappe
sol nu									
6	TN	+	9 - 14	- 1,62	- 259,2	0,34	3,60	1,62	creux
sol nu sous savane discontinue à buttes herbeuses									
7	PB	+	16	- 0,81	- 129,6	0,17	6,17	1,59	nappe
sol nu									
8+9	PB	+	16	- 0,80	- 128,0	0,17	6,09	1,52	nappe + rigoles
sol nu									
10	PB	0	58	+ 0,56	+ 89,6	-	4,85	1,09	nappe
talus avec <i>Cynodon dactylon</i> discontinu au début de l'année									
11	TN	+	24	- 3,21	- 513,6	0,68	17,31	3,49	marches + creux
champ avec souches d'arbustes									
12	PB	+	38	- 5,09	- 814,4	1,08	15,26	5,09	creux + rainures
talus avec <i>Paspalum notatum</i> discontinu									
13	PB	+	11	- 0,64	- 102,4	0,14	11,12	1,06	creux
<i>Paspalum notatum</i> discontinu									
14	TN	+	12	+ 0,76	+ 121,6	-	1,91	1,11	
végétation herbeuse discontinue									
15	TN	+	19	+ 0,56	+ 89,6	-	3,39	0,56	creux
végétation herbeuse rampante discontinue et buttes									
16	TN	+	21	+ 0,45	+ 72,0	-	4,21	0,50	
herbes plus clairsemées en buttes									
17	TN	+	26	- 0,79	- 121,4	0,13	1,72	1,06	
tapis végétal discontinu, sol très meuble									
18	TN	+	33	- 0,10	- 16,0	0,02	2,32	0,60	creux
savane discontinue à buttes herbeuses									
19	TN	?	31	- 0,71	- 113,6	0,11	1,99	0,84	
herbes serrées sous arbustes									
20	TN	?	51	+ 0,32	+ 51,2	-	4,64	0,47	0
végétation rampante sous arbustes									
21	TN	+	3	- 0,72	- 115,2	0,11	1,72	1,17	nappe
sol nu									
22	PB	+	58	- 3,90	- 624,0	0,83	3,99	3,90	rainures
talus à <i>Cynodon dactylon</i> sous un papayer									
23	PB	+	3	- 0,30	- 48,0	0,06	3,17	0,70	nappe
sol nu									
24	PB	0	36	- 0,33	- 52,8	0,07	3,90	0,82	nappe
talus au sol nu sous un manguier									
moyenne:				- 0,74	- 118,4	0,16	5,04	1,58	

PB : parcelle bâtie. TN : terrain naturel, apport d'amont : site recevant plus ou moins de ruissellement de l'amont. Trm : leur tendance réelle moyenne, k' : « érodabilité » théorique. Imm : indice de mobilité moyenne. Tam : tendance absolue moyenne.

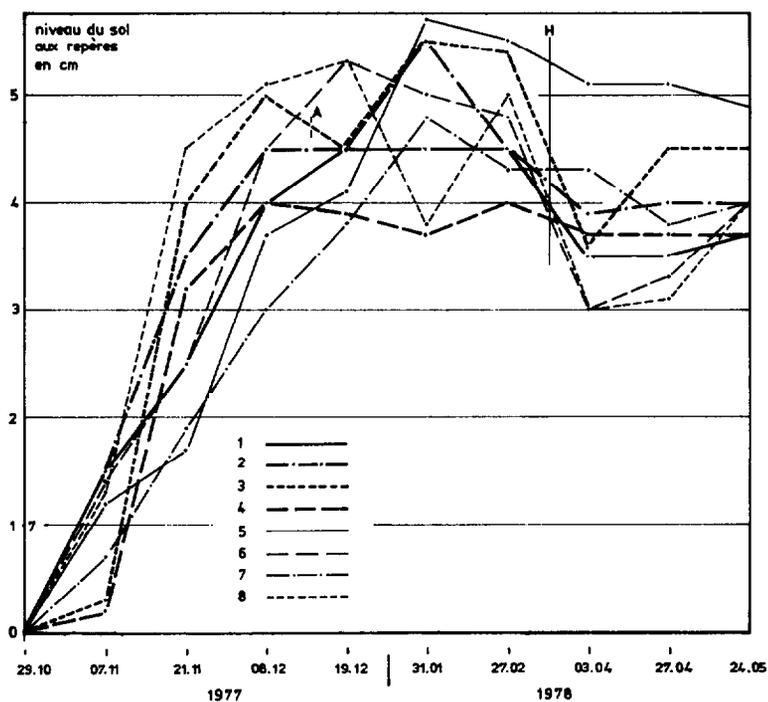


FIG. 3. — Evolution du niveau du sol à la station n° 5, en 1977-78.
Soil level evolution at the station n° 5.

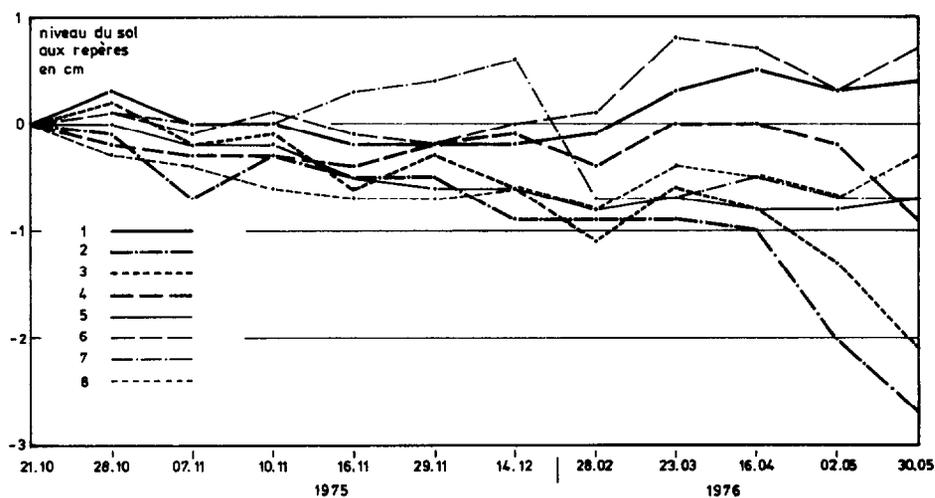


FIG. 4. — Evolution du niveau du sol à la station n° 17, en 1975-76.
Soil level evolution at the station n° 17.

L'indice EI30 annuel, valait pour chacune des deux années hydrologiques un pourcentage équivalent de la pluie tombée :

	1975-76	1977-78
P = pluies (mm)	1 131	869
EI30 = (R, USA)	579	434
EI30 = % de P	51,2	49,9

soit, en moyenne, près de 50 %.

Cette proportion est identique à celle trouvée au niveau régional en Afrique Occidentale (ROOSE, 1980).

L'analyse des coefficients de corrélation entre les variations des indices d'érosion et celles des indices d'érosivité pour des sélections de repères et de stations, a permis de dégager les conclusions qui suivent.

Les coefficients de corrélation linéaire entre les variations des indices d'érosion et celles des indices d'érosivité ont été trouvés significatifs entre : EI30, TKE > 25 et les ablations ainsi que la tendance maximale. Il en est de même pour la tendance maximale et l'intensité moyenne individuelle des pluies. Cette dernière est cependant le seul indice à rendre compte de l'intensité des érosions liées au ruissellement concentré. Les accumulations sont, quant à elles, bien corrélées avec la simple pluviosité des périodes concernées.

Ces conclusions confirment la validité des indices d'érosivité classiques, comme celui de Wischmeier. Elles confirment par ailleurs la valeur d'un indice d'érosivité simple et bien connu en hydrologie, à savoir l'intensité moyenne de la pluie.

En partant des seules ablations mesurées aux 292 repères des 24 stations, on peut estimer l'ablation théorique annuelle. Celle-ci est obtenue en extrapolant les coefficients de corrélation à la valeur annuelle de l'indice d'érosivité EI30. Les résultats figurent au tableau II. Ils donnent une idée de ce qui se passerait dans des versants totalement dénudés.

TABLEAU II

L'ablation moyenne de sélection de stations, extrapolée à l'érosivité annuelle, EI30, en valeur Rm (899,2, à Binza en 1977-78)

Mean erosion of stations selection extrapolated to annual erosivity

indice d'érosion	Sélection	pentes en %	ablation annuelle	
			cm	t/ha
AG	1 à 13+23+24	2 à 58	5,74	918
AH	1 à 13+23+24	2 à 58	5,25	840
AH	1+4 à 13	2 à 58	3,91	626
AH	7 à 13	11 à 58	5,50	879
AH	10 à 13	11 à 58	6,09	975
AG+AH	11	11 à 58	13,62	2179
AH	12	38	14,98	2396
TM	11	24	19,84	3174
TM	8 (+9)	11 à 16	15,19	2430

Indices d'érosion : ablation générale (AG), tendance maximale (TM), ablation hors incidents (AH).

En réalité la couverture végétale assure, bon gré mal gré, une certaine protection et il faut tenir compte des accumulations. Le « bilan des érosions » est cependant élevé au niveau des versants. Nous l'évaluons à une moyenne de moins 0,74 cm par an pour l'ensemble des repères aux stations, soit une ablation d'environ 118 tonnes par hectare et par an. Ces conclusions résultent de l'analyse des 2 324 tendances mesurées aux 192 repères des 24 stations implantées. Elles représentent au moins une part de la réalité.

4. OBSERVATIONS QUALITATIVES, LES TYPES D'ÉROSION, LE RÔLE DE LA PENTE ET DE LA VÉGÉTATION

Parmi les nombreuses observations effectuées, nous choisirons celles qui ont valeur d'exemple. Elles sont classées en fonction de l'un ou l'autre facteur dominant.

Dans un premier stade, sur les pentes les plus faibles, le ruissellement peut être discontinu dans l'espace comme dans le temps. Les traces de ce ruissellement sont irrégulières, anastomosées, sans que des creux suffisants se soient installés dans le sol. D'une pluie importante à l'autre, ces traces se déplacent latéralement. Le réseau est diffus dans l'espace. Cette discontinuité existe aussi dans la durée. Une zone amont dénudée peut donner du ruissellement en nappe qui s'infiltré dans un espace aval par le fait d'un frein quelconque comme un rideau de végétation ou une pente un peu plus faible. Le ruissellement présente donc un caractère discontinu dans l'espace et dans le temps.

Quand le sol est dénudé, le rôle de la pente est fondamental. Le type de phénomène d'érosion lui est lié. Le ruissellement en filets d'eau apparaît dès 5 à 9 % de pente. Au-delà de 12,5 %, ces filets d'eau creusent le sol, le ruissellement est alors érosif. A partir de 20 à 25 % de pente, l'érosion linéaire prend le pas, le ruissellement concentré creuse alors en formant des ravines et des ravins dont les entailles remontent dans les versants.

La végétation a un rôle majeur. Mais c'est une erreur de croire que ce rôle est nécessairement protecteur. En effet, dès que la moindre discontinuité apparaît dans la couverture du sol, le ruissellement s'attaque à ce dernier et engendre un contraste entre végétation en relief et sol nu en creux. Dans ce type de sol très érodible, une végétation discontinue peut même engendrer un accroissement d'érosion par suite du rejet des eaux tombées sur la végétation qui sont ainsi concentrées dans les espaces dénudés avec un débit accru.

Un microrelief naît d'une végétation discontinue. C'est le cas pour une couverture de *Paspalum notatum* qui favorise l'érosion des sols tant qu'elle n'est pas continue.

Même en terrain plat, une différenciation apparaît. L'impact de la pluie projetée des particules provenant du sol dans les feuilles et sur les troncs. Ces particules s'accumulent ensuite à leurs pieds pour former des talus coniques.

Une couverture arborée peut être génératrice d'érosion quand, par exemple, de grandes feuilles provoquent la concentration de la pluie en véritables jets d'eau qui creusent le sol là où ils atterrissent. C'est le cas pour les ficus et les manguiers. Seule une couverture arborée associée à une couverture au sol complète peut assurer une protection totale d'un site donné.

Les versants des collines de la région de Kinshasa sont d'allure convexe-rectiligne-concave. La répartition des pentes de ce versant type dans des classes données est en moyenne la suivante, pour la portion de versant qui dépasse 7,5 % :

— 23 à 28 % de la superficie des versants ont une pente comprise entre 10 et 12,5 %,

— 20 à 39 % de la superficie des versants ont une pente comprise entre 12,5 et 20 %.

— 12 à 19 % de la superficie ont une pente de plus de 20 %.

Le ruissellement étant systématiquement érosif dès que la pente dépasse 12,5 %, des précautions sont à prendre au plan de l'occupation de ces espaces. Les portions de versant dépassant le seuil des 20 % doivent être considérées comme non occupables, si ce n'est par une végétation assurant une couverture totale ou par des travaux assurant l'écoulement des eaux superficielles en site propre sans dommage jusqu'au pied du versant (VAN CAILLIE, 1976-1988).

5. LE CONTRÔLE DE L'ÉROSION

Ce contrôle existe actuellement au niveau des parcelles bâties où, dans de nombreux cas, les occupants maî-

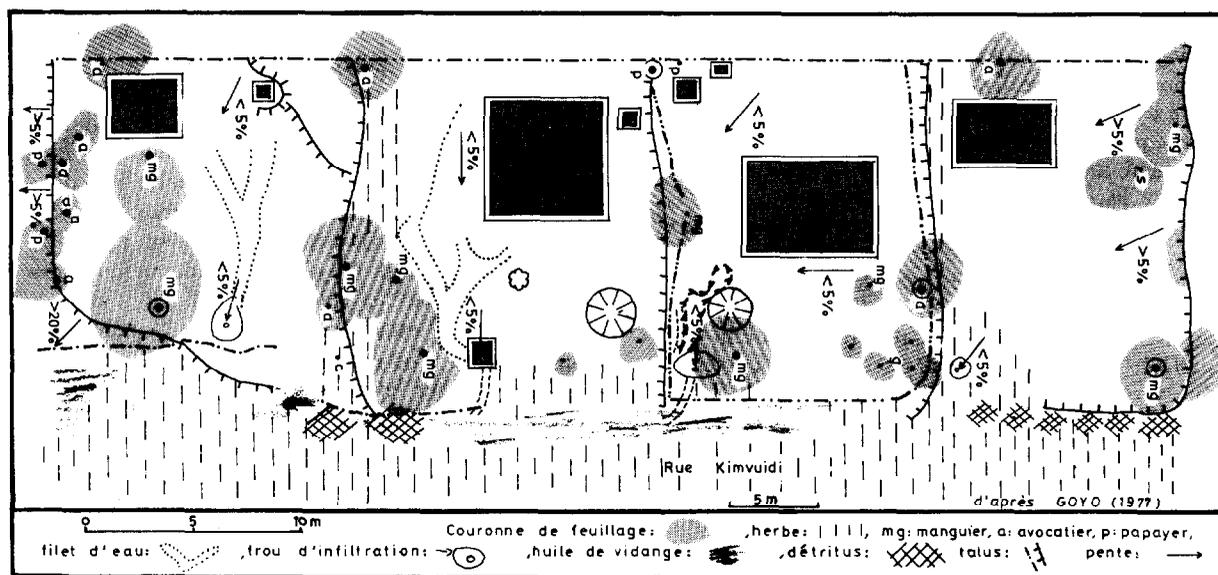


FIG. 5. — L'occupation des parcelles.
Plots occupation.

trisent le ruissellement par un aménagement de la topographie (fig. 5). Les parcelles bâties sont généralement de petite dimension. Dans la majorité des quartiers, elles ne dépassent pas 400 m². Une contre-pente est parfois établie et la parcelle peut être divisée en terrasses successives.

Les eaux des toitures sont collectées dans des fûts aux fins d'utilisation. Les parcelles sont arborées, mais le sol est maintenu à l'état nu. Des trous sont creusés

vers lesquels les eaux de ruissellement sont conduites en vue de les infiltrer. Ils sont régulièrement vidés des dépôts de sables accumulés après chaque pluie importante.

Ce contrôle est cependant insuffisant quand le problème est pris dans son ensemble, car certaines parcelles rejettent encore dans les rues des eaux de ruissellement qui, en cumulant leurs débits, peuvent occasionner des dégâts importants (fig. 6). La capacité de

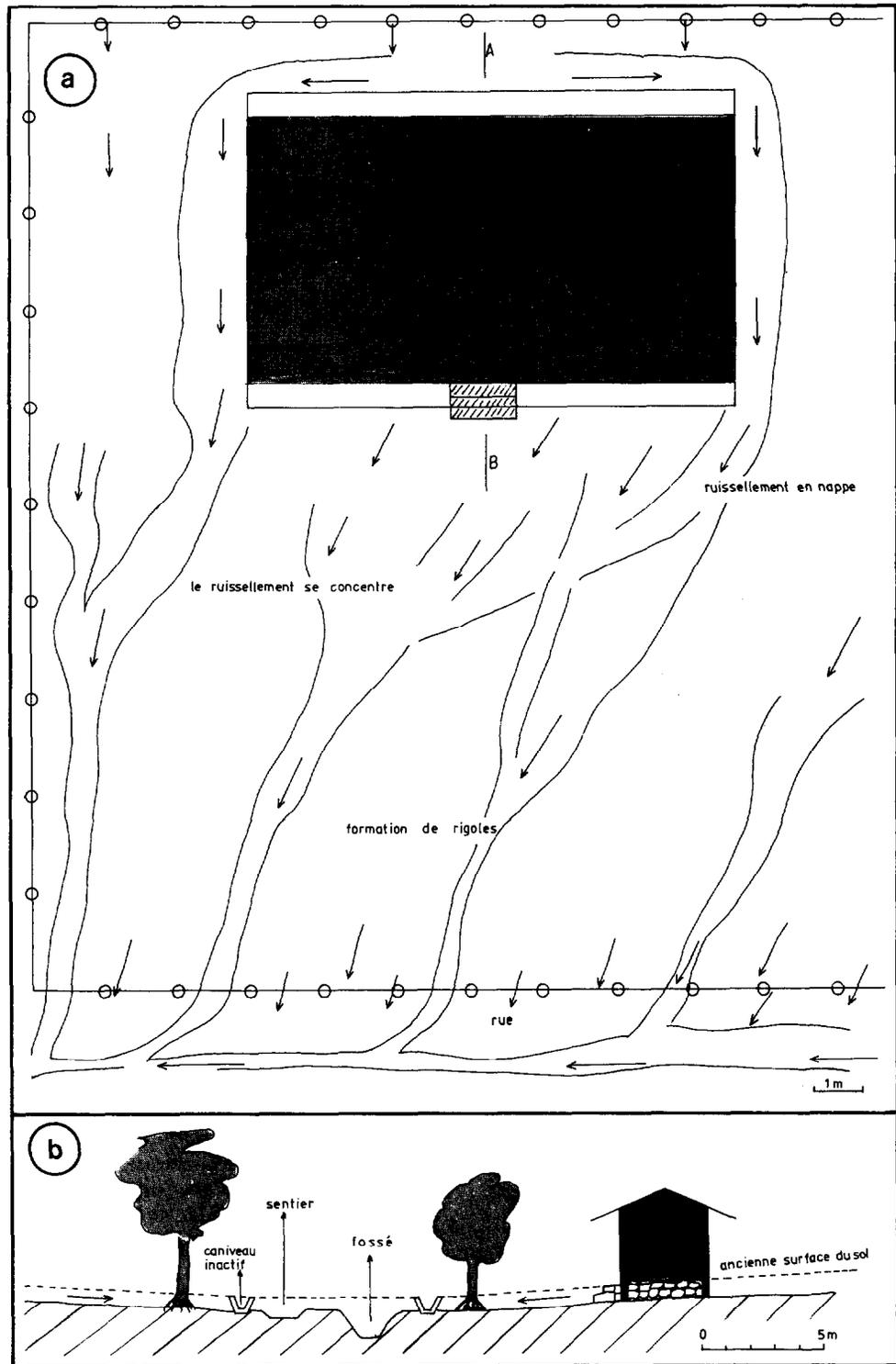


FIG. 6. — Le réseau d'évacuation des eaux pluviales : a = des toitures et des parcelles, b = des parcelles et des rues.
 Pluvial waters raining off network : a - from roofs and plots, b - from plots and streets.

stockage des eaux de toiture est encore insuffisante et l'absence de couverture végétale au sol favorise le ruissellement.

Une amélioration substantielle devrait être obtenue en construisant des petits ouvrages de stockage de l'eau de pluie et en enherbant une proportion plus importante de chaque parcelle, tout en conservant des espaces nus à condition que leur drainage soit assuré vers un fossé d'infiltration (fig. 7). Il faudrait y associer la plantation d'arbres hygrophiles comme les *Eucalyptus* dont le bois est demandé comme combustible.

Au niveau des rues, la lutte antiérosive est moins efficace malgré les efforts de certains riverains. Cela est dû, notamment, aux excès d'eau provenant des parcelles non entretenues. Mais c'est surtout l'organisation de la circulation qui est à mettre en cause. Les quartiers se sont développés à partir du sommet des collines, là où passent les routes asphaltées. D'amont en aval du versant, les eaux de ruissellement deviennent plus agressives. Les parcelles situées en amont se soucient fort peu de ce qu'il advient des eaux qu'elles rejettent. Le ravinement s'installe alors dans les secteurs de plus de 20 %. Il entaille le versant, pluie après pluie, vers l'amont jusqu'aux parties hautes en pente faible, où l'habitat est le plus dense.

Dans certaines villes, de grandes collecteurs en béton ont été construits en suivant les isohypses pour récolter les eaux de ruissellement. Ils sont reliés à d'autres collecteurs qui dévalent les versants jusqu'au fond des vallées. Ces ouvrages, fort coûteux, sont souvent attaqués par l'érosion. Cela se passe de différentes manières. Des obstacles réduisent la surface utile des ouvrages de décharge en provoquant leur débordement. L'absence de dispositif brise-énergie dans le fond des vallées, ou leur insuffisance, amène la destruction du collecteur qui devient le site d'un ravin gigantesque car toujours alimenté par les pluies (VAN CAILLIE et NOEL, 1980).

Ces ouvrages sont calculés pour des pluies d'une fréquence donnée. Cela veut dire que, lors des pluies de fréquence plus faible, les débordements se produisent d'office. L'érodibilité du sol est telle, qu'une seule pluie peut suffire à détruire tout un ouvrage. Le débit de débordement, concentré au pied de l'ouvrage, affouille le sol de fondation en un point et fait sauter le collecteur, dont tout le débit se déverse à même le sol. Le sapement est alors impossible à maîtriser.

Le problème du matériau utilisé est majeur. Les ouvrages en béton isolent en site propre les écoulements récoltés, mais ils sont fragiles par le fait que l'environnement dans lequel ils sont fondés est lui-même extrêmement érodible. La zone de contact béton — sable fin est le point faible de ce type d'ouvrage. Le ruissellement lié aux circonstances locales emporte le sable dès qu'il n'est plus couvert et l'on retrouve le processus

décrit plus haut. De plus, le ruissellement en nappe étant érosif, quelques années suffisent pour que l'environnement d'un réseau d'évacuation se retrouve plus bas que l'infrastructure de collecte. Celle-ci ne récolte plus alors que la pluie qui tombe dessus (fig. 7).

L'amélioration des réseaux d'écoulement peut être obtenue par des dispositifs à interface souple par rapport au milieu, et qui soient caractérisés par une grande capacité d'absorption aussi diffuse que possible. Des fossés enherbés sont préférables aux filets d'eau en béton. Des fossés à grande section sont réalisables, avec des pentes longitudinales limitées. Mais avant tout, il faut prendre le problème à sa base, c'est-à-dire au niveau de chacune des parcelles de la zone à drainer. Toute amélioration dans les parcelles aura des répercussions majeures au niveau des rues, à cause de l'effet cumulatif des débits de pointe du ruissellement.

La réorganisation des circulations peut résoudre une grande partie des problèmes. Elle doit être étudiée pour chaque versant en particulier. Il faut favoriser la circulation générale dans le sens des isohypses et supprimer tous les axes en grande largeur dans le sens de la pente. Ces derniers doivent être réduits à des sentiers à condition qu'on ne laisse subsister que des portions discontinues et en quinconce, ce qui revient en général à conserver une liaison sur deux. Le réseau de circulation revu sera constitué de rues en terre, suivant les courbes de niveau, parallèles entre elles et munies de fossés enherbés. Les liaisons perpendiculaires seront aménagées pour le seul passage des piétons. Si des dispositifs « en dur » s'avèrent nécessaires, leur protection doit être étudiée avec le plus grand soin.

Des dispositifs techniques particuliers permettent de résoudre certains problèmes. Par exemple, des petits ravins sont comblés par une succession de massifs de ballast solidarisés par une armature métallique constituée d'épaves de véhicules. Un tel dispositif permet le passage de l'eau par filtration derrière le barrage et le dépôt de sédiments en amont. Le sapement est compensé par la souplesse de l'ouvrage qui peut se tasser progressivement. L'armature assure une cohésion suffisante pour la durée du remblai.

Certains matériaux modernes assurent un drainage rapide par un dispositif filtrant que l'on peut accoupler à un réseau de collecte calibré. Chaque cas doit être étudié en particulier, les solutions sont multiples et combinatoires, mais le coût des travaux sera toujours réduit par un meilleur contrôle des écoulements sur l'ensemble du bassin à équiper.

6. CONCLUSIONS

L'érosion des terrains sableux nus est très importante, plus de mille tonnes par hectare et par an, même quand

la pente est faible. L'érodabilité du matériau est très élevée. L'érodabilité moyenne observée pour l'ensemble des stations est de $-0,74$ cm/an.

L'érosion « aréolaire » est liée au ruissellement en nappe qui peut être discontinu dans l'espace comme dans le temps. La discontinuité de la couverture du sol

est génératrice d'érosion par suite de la concentration des eaux liée à l'obstacle : végétation, arte fact, infrastructure, etc.

L'indice d'érosivité EI30 de Wischmeier, en valeurs R USA, vaut la moitié des pluies annuelles sur la région. C'est un outil fidèle quand il s'agit d'évaluer l'ablation

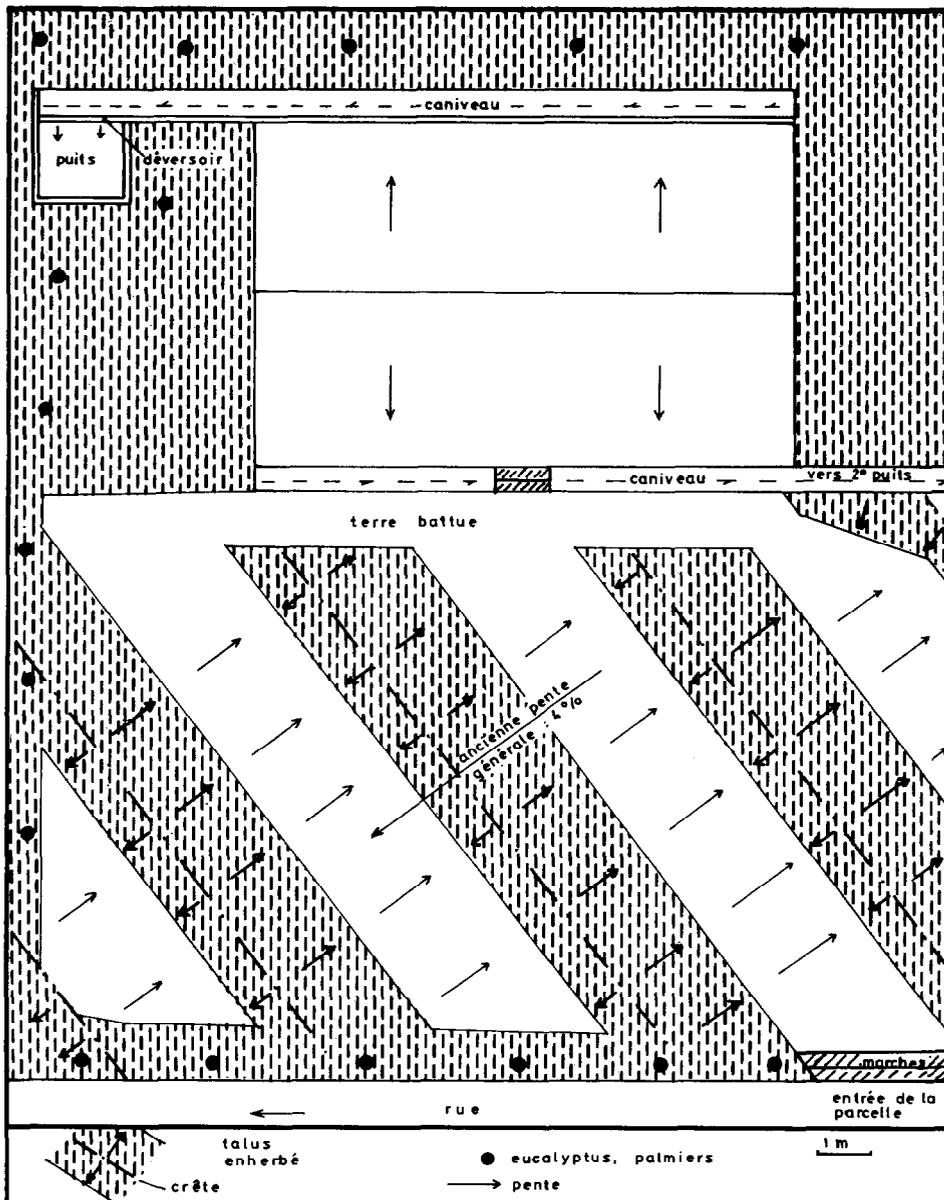


FIG. 7. — Evacuation des eaux de toiture et aménagement d'une parcelle, schéma d'ensemble pour une maison de 6 m × 10 m, dans une parcelle de 20 m × 20 m.

Roof waters raining off and plot management.

de parcelles isolées en dehors des phénomènes d'érosion linéaire. Ces derniers sont provoqués par le ruissellement concentré qui est essentiellement lié à l'intensité moyenne des pluies.

L'érosion « linéaire », par creusement vertical du réseau d'écoulement, apparaît sur sol nu dès que la pente atteint 20 %. Elle provoque la formation de ravins qui attaquent l'amont et l'aval du versant. Il faut empêcher les eaux de ruissellement d'atteindre les secteurs de plus de 20 %, à moins de les reprendre par des ouvrages spécifiques. Les pentes de moins de 20 % sont aménageables, à condition d'empêcher tout ruissellement vers les secteurs plus pentus situés en aval.

Ces conclusions sont applicables aux terrains sableux des régions du Kwango, du Kwilu et du Kasai, à l'est, et à celles des plateaux et des collines de la république du Congo, au nord. On y trouve le même substratum

géologique dans un environnement climatique similaire et les conditions de faisabilité des aménagements sont pareilles.

Le contrôle des érosions doit être étudié dans chaque cas en particulier. La morphologie, le type d'occupation des zones à drainer et les conditions socio-économiques locales doivent être pris en considération pour la conception et la mise en œuvre des dispositifs.

La maîtrise de l'érosion passe par la gestion de ce qui se passe au niveau des parcelles et des axes de circulation. Ce problème a des implications individuelles et communautaires. La rentabilité des investissements dans le contrôle des érosions est liée à la prise de conscience de la globalité des solutions à mettre en œuvre.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 23-10-1989.

BIBLIOGRAPHIE

- DE PLOEY (J.), 1965. — Position géomorphologique, genèse et chronologie de certains dépôts superficiels au Congo occidental. *Quaternaria*, VII, Roma : 131-154.
- DE PLOEY (J.), 1968. — Quaternary phenomena in the Western Congo, in means of correlation of quaternary successions. Congress international association for quaternary research, University of Utah press, Vol. 8, proceedings VII : 501-517.
- ISP-GOMBE, 1976-1978. — Aradjabu Famili, Bengila Ayass, Goyo Lutete, Kashala Bilonda, Kobokelo Matondo, Masika Sikwaya, Nyiringabo Tuliza. — Travaux de fins d'études dirigés par VAN CAILLIE, Département Géographie Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, Kinshasa.
- MORGAN (R.), 1979. — Soil erosion. Longman group limited, Suffolk, 113 p.
- ROOSE (E.), 1980. — Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 587 p.
- VAN CAILLIE (X.), 1983. — Hydrologie et érosion dans la région de Kinshasa, analyse des interactions entre les conditions du milieu, les érosions et le bilan hydrologique. Thèse de doctorat, Laboratoire de Géomorphologie Expérimentale, Département Géographie-Géologie, KUL. Leuven, Belgique, 553 p.
- VAN CAILLIE (X.), 1976-1988. — La carte géomorphologique et géotechnique de Kinshasa à l'échelle du 1/20 000. Bureau d'études d'aménagements urbains, Kinshasa, quatre planches thématiques et notice, 17 p.
- VAN CAILLIE (X.) et NOEL (J.P.), 1980. — Etude des érosions à Kikwit. Bureau d'études CADIC et Département des travaux publics.
- WISCHMEIER (W.) et SMITH (D.), 1968. — Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook n° 537, Science and Education Administration, in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station, 58 p.