

RELATIONS ENTRE L'EROSION PAR RIGOLES EN MONOCULTURE
MECANISEE DE MAÏS ET L'ERODIBILITE DES SOLS DANS LA PÉRIPHÉRIE DE
LUBUMBASHI (SHABA, ZAÏRE)

Relations between soil erosion and erodibility by rills in maize mechanical monoculture
in the vicinity of Lubumbashi

MITI T.*

ABSTRACT

Observations were made during the rainy seasons 1980-81, 1981-82, 1984-85 and 1988-89 in several maize fields under mechanized monoculture in the vicinity of Lubumbashi.

Soil erosion as estimated the rill dimensions varies between 1 and 15 tons $ha^{-1}y^{-1}$. The part played in soil erosion by the stemflow and the deficient and late protection of the soil by the vegetation is made abundantly clear.

Because of those two factors maize culture is the most degrading in the humid tropical zone. Soils on sandstone are the most eroded (12 to 15 t $ha^{-1}y^{-1}$) in comparison with the soil on limestone (3 to 9 t $ha^{-1}y^{-1}$) and shales (1 - 3 t $ha^{-1}y^{-1}$). As fields are cultivated in the same way, variations in the erosion are only the result of soil properties with secondary slope effects.

The relative sensitivity of the soils to erosion is confirmed by simulation techniques and also by the nomogramme technique. The later is very simple and inexpensive method to forecast soil erodibility for erosion prevention and agriculture development.

RESUME

L'auteur compare les taux d'érosion obtenus par des mesures volumétriques des rigoles persistantes au cours des saisons des pluies 1980-1981, 1981-1982, 1984-1985 et 1988-1989 dans plusieurs champs de culture de maïs à labour mécanique dans la périphérie de Lubumbashi.

L'érosion estimée sur base des dimensions des rigoles varie de 1 à 15 t. $ha^{-1} an^{-1}$. Le rôle de la couverture déficiente et tardive du sol par le maïs et de l'écoulement le long des tiges sur l'érosion est mis en évidence. Ces deux facteurs font de la culture du maïs l'une des plus dégradante en zone tropicale humide. Avec une érosion évaluée entre 12 et 15 t. $ha^{-1} an^{-1}$, les sols issus de grès sont les plus érodés par les rigoles si on les compare aux sols dérivés des calcaires (3 à 9 t. $ha^{-1} an^{-1}$) et des schistes précambriens (1 à 3 t. $ha^{-1} an^{-1}$). Le mode d'exploitation des champs étant partout le même, les variations de l'érosion résultent des propriétés des sols auxquelles s'ajoute secondairement l'influence de la pente du terrain.

* Laboratoire de Géomorphologie et Conservation des sols - Université de Lubumbashi - B.P. 1825 - Lubumbashi, Zaïre

La sensibilité relative des sols à l'érosion se confirme à la fois à travers les indices d'érodibilité établis tant à l'aide de la technique de simulation que de celle du nomogramme. Celles-ci constituent, une approche simple et peu coûteuse pour déterminer la sensibilité des sols à l'érosion dans le cadre d'une lutte anti-érosive lors d'une mise en valeur des sols.

INTRODUCTION

Dans les environs de Lubumbashi, l'érosion actuelle des sols est très discrète, de sorte que peu d'études jusqu'à présent, en ont décrit les modes d'action (ALEXANDRE & ALEXANDRE-PYRE, 1964; ALEXANDRE, 1967) ou en ont quantifié les manifestations (SOYER *et al.*, 1982; MITI *et al.*, 1984; LOOTENS, 1982, 1983; LOOTENS & LUMBU, 1986; LOOTENS & KISHIMBI, 1986; MIJ *et al.*, 1989).

En ce qui concerne l'érosion agricole, SOYER *et al.* (1982) ont évalué le déplacement des particules de sol par le splash à $188 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, dans un champ de maïs de la station de Kisanga, située à 10 km au sud-ouest de Lubumbashi. A Luamabwe, à quelque 25 km au sud-est de cette ville, LOOTENS (1982, 1983) estime que l'érosion par rigoles dans un champ de même nature était de l'ordre de 3 et $9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. C'est ce dernier aspect qui a fait plus particulièrement l'objet de la présente étude, l'intérêt en est d'autant plus grand que le maïs, aliment de base au Shaba méridional, et que sa cultures est l'une des plus dégradantes pour les sols des milieux tropicaux humides (CHARREAU, 1972; ELWELL & STOCKING, 1973; HUDSON, 1958; LAL, 1976). En effet, bien que d'introduction récente, la monoculture mécanisée de maïs se démarque vis-à-vis du milieu naturel et des champs traditionnels en billons par une érosion en rigoles fort dynamique qu'accompagne une ablation généralisée par le ruissellement diffus et en nappe. L'ablation estimée par LOOTENS (1982) à l'aide des piquets varie entre 1 mm et 2 mm par an. Néanmoins, la grande partie des matériaux de sol érodé du versant provient des rigoles (MORGAN, 1977).

Fondée sur des mesures dimensionnelles dans les rigoles et des observations directes au cours des saisons des pluies 1980-81, 1981-82, 1984-85 et 1988-89 dans plusieurs champs de maïs totalisant une superficie de 100 ha, cette étude vise à l'évaluation de la quantité de terre érodée par les rigoles résultant de la mécanisation de la culture de maïs dans la périphérie de Lubumbashi. Elle tente de montrer le danger déjà déploré ailleurs d'une mécanisation des labours sans accompagnement de mesures anti-érosives; elles présentent en même temps, en comparant les taux d'érosion à l'érodibilité des sols, deux techniques simples permettant la détermination préalable de la susceptibilité des sols aux phénomènes d'érosion.

ENVIRONNEMENT

La figure 1 montre les différentes aires d'observation et les principaux sites d'étude approfondie des processus de l'érosion. Ces zones d'observation sont situées sur la surface d'érosion de Lubumbashi, qui impose ses lignes subhorizontales à l'ensemble morphologique. Les pentes faibles et régulières dépassent localement 4°, particulièrement dans les ruptures de pente au contact entre versant et vallée encaissée et sur les flancs de buttes résiduelles.

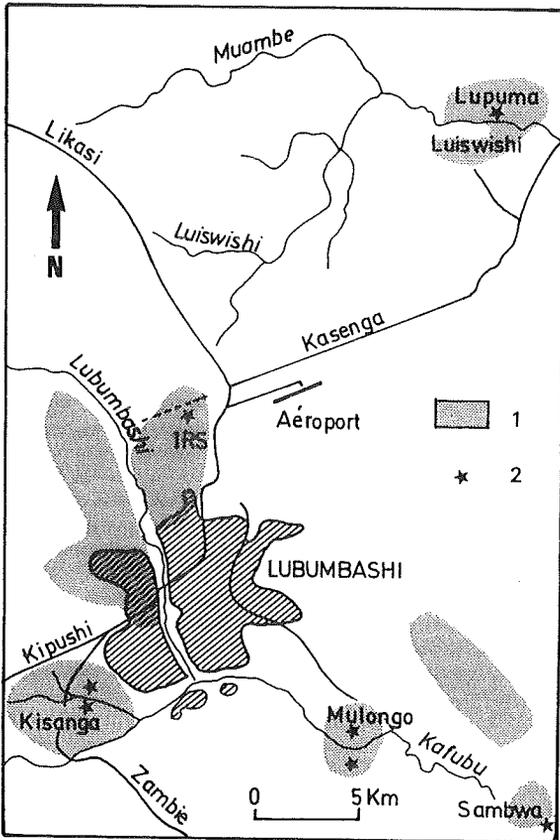


Fig. 1 : Localisation

1. Aires d'observations répétées
2. Champs de culture mécanisée de maïs
3. Cours d'eau
4. Route

Depuis l'installation de l'agglomération de Lubumbashi, le paysage périurbain subit des transformations écologiques très importantes qui dégradent profondément la forêt. En effet, la forêt claire qui entourait la ville et représentait 84 % des formations végétales du degré carré vers 1900, a reculé à 30 km de la ville. La clairière qui en résulte

s'est accrue de 230 km² en 1973 à 1.360 km² en 1983 (SOYER & WILMET, 1983). Ce déboisement est surtout le fait de l'abattage des arbres pour la production de charbon de bois (8 084 ha.an⁻¹), de bois de chauffe (5 684 ha.an⁻¹) et de bois d'industrie (MALAISSE *et al.*, 1980).

Sur une superficie de 5 777 ha de culture arpentée dans le degré carré de Lubumbashi entre 1982 et 1983, 3 691 ha soit 64 % sont affectés à la culture de maïs (MALAISSE *et al.*, 1983). Actuellement, l'étendue emblavée a considérablement augmenté et les périmètres autour des villes verdoient grâce aux champs de maïs. On se rend compte à travers ces quelques considérations de l'importance de la culture du maïs et de son impact futur sur l'environnement.

Quelle que soit l'origine de la dégradation de l'environnement, il est clair que l'écran constitué par la végétation entre le sol et les pluies, perd de plus en plus son rôle protecteur (SOYER *et al.*, 1982; MITI *et al.*, 1984).

La région jouit d'un climat tropical humide caractérisé par une saison pluvieuse de cinq mois (novembre - mars) au cours desquels tombent en moyenne 1.238 mm de pluies réparties sur 120 jours (SOYER & NTOMBI, 1982) et une saison sèche de même durée (mars-septembre) séparée de la première par deux périodes de transition (avril, octobre). La température moyenne annuelle est de 20° C. (LEBLANC & MALAISSE, 1978).

MESURES ET OBSERVATIONS

Pour fixer l'évolution des rigoles sujettes à de fréquentes perturbations par divers travaux culturaux (sarclage), les dimensions (longueur, largeur et profondeur) des rigoles permanentes ont été systématiquement relevées en vue d'estimer les quantités de sol érodé au cours des saisons des pluies 1980-81, 1981-82, 1984-85 et 1988-89. En plus de 100 ha de cultures mécanisées, un certain nombre de parcelles témoins travaillées d'après la technique traditionnelle en billons ont été intégrées à l'étude.

Calculées sur base des volumes de terre équivalents des rigoles, les quantités de matériaux érodés sont en plus classées par ordre d'importance en fonction de groupes de sols (SYS & SCHMITZ, 1959) et mises en relation avec les indices d'érodibilité déterminés par la simulation (MITI, 1987) et par le nomogramme (WISCHMEIER *et al.*, 1971).

La technique de simulation se fonde sur l'équation universelle de pertes de sol (WISCHMEIER & SMITH, 1978) :

$$A = KRS LCP \quad [1]$$

dans laquelle A représente la perte de sol, K est l'indice d'érodibilité, R l'agressivité pluviométrique, S l'inclinaison de la pente, L la longueur de la pente, C un facteur relatif aux pratiques culturales et P un facteur relatif aux mesures anti-érosives. La variabilité de la perte de sol dépend essentiellement de l'érodibilité K et de l'agressivité pluviométrique R de sorte que les quatre derniers facteurs de la relation [1] peuvent être rendus constants et réduits à l'unité notamment lors des expériences. Ce qui ramène l'équation [1] à une expression plus simple du type :

$$A = K R \quad [2]$$

d'où l'on peut tirer $K = A/R \quad [3]$

Le nomogramme est un abaque (Fig. 2) résultant de l'équation :

$$K = 2.10^{-6} \cdot (12 - OM) M^{1,16} + 3,23 \cdot 10^{-2} (S - 2) + 2,5 \cdot 10^{-2} (P - 4) \quad [4]$$

dans laquelle K est l'indice d'érodibilité, OM représente la matière organique, S la structure, M la texture et P la perméabilité.

Néanmoins, les analyses ont montré que les sédiments érodés, dont les dimensions dépendent des caractéristiques hydrauliques du ruissellement, n'ont pas la même texture que les sols d'origine après traitement peptisant. Il n'y a pas de raison pour que des liens soient recherchés nécessairement entre l'érosion et les propriétés conventionnelles des sols. De ce fait, le nomogramme a été adapté en remplaçant dans l'équation (4) le facteur textural M par un facteur correspondant tiré de la granulométrie sans peptisant des éléments de sol érodés, la structure S par un indice de stabilité des agrégats I_s et la perméabilité P par la conductivité hydraulique K_s .

Groupe de sols	Roche mère	Texture (%)			O.M. (%)	I_p (%)	I_s (%)	K_s 10^{-5}mm h^{-1}
		Argile	Limon	Sable				
A	Schiste	41,4	35,7	22,9	2,1	9,9	37	4,9
B	Calcaire dolomitique	37,5	19,7	42,8	2,4	11,4	22	3,8
C	Grès Conglomérat	18,1	18,9	63,0	1,7	5,8	1	1,2

O.M. : Matière organique;

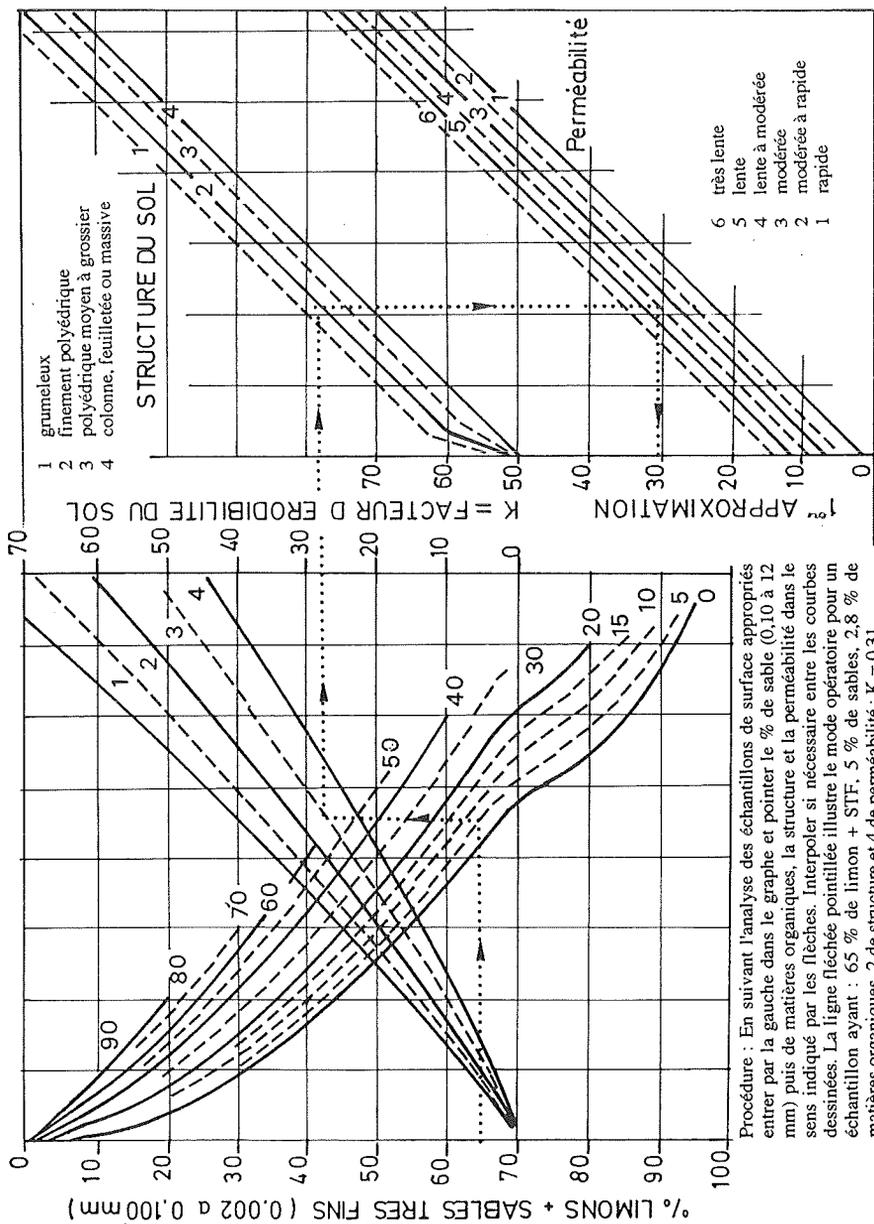
I_p : Indice de plasticité;

I_s : Indice de stabilité des agrégats

K_s : Conductivité hydraulique.

Tab. I : Caractéristiques moyennes par groupe de sols

Les sols dont le tableau I présente les caractéristiques moyennes par groupe (MITI, 1987) ont été identifiées et restitués sur le terrain à l'aide de la carte des sols (SYS et SCHMITZ, 1959) de la région.



Procédure : En suivant l'analyse des échantillons de surface appropriés entrer par la gauche dans le graphe et pointer le % de sable (0,10 à 12 mm) puis de matières organiques, la structure et la perméabilité dans le sens indiqué par les flèches. Interpoler si nécessaire entre les courbes dessinées. La ligne fléchée pointillée illustre le mode opératoire pour un échantillon ayant : 65 % de limon + STF, 5 % de sables, 2,8 % de matières organiques, 2 de structure et 4 de perméabilité : K = 0,31.

Fig. 2 : Nomogramme permettant d'estimer le facteur K d'érodibilité des sols, d'après WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS, 1971.

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

1. *Dynamique de l'érosion*

Le développement des rigoles suppose un ruissellement ayant les caractéristiques hydrauliques suivantes :

- une concentration d'eau suffisante sur du matériau de sol nu, peu ou non cohérent;
- une force de cisaillement et une vitesse capables d'arracher et d'entraîner sans distinction, des particules de sol de différentes dimensions.

Ces conditions sont plus facilement réunies dans les champs de culture pratiqués sur les versants et déterminent la dynamique de l'érosion accélérée par les rigoles en culture mécanisée de maïs.

a) Caractérisation des rigoles

La morphologie des incisions ressemble fort à celle des rigoles observées à Luamabwe par LOOTENS (1983) et à celle des chenaux plats décrits en Hesbaye par BOLLINNE (1982) et se caractérise par une profondeur de 15 à 30 cm, correspondant à l'épaisseur de la couche de sol labouré. Le fond du chenal est plat et semble se situer sur le plan de la couche de sol non atteinte par le labour mécanique et dont la compacité de l'argile limite l'encaissement des sillons. La largeur moyenne des rigoles varie de 30 à 50 cm et peut dépasser 200 cm sur les sols sableux tandis que la longueur, très variable, dépend de la nature des sols et de la pente. Quant aux berges, verticales à subverticales, elles s'élargissent par micro-minage et par micro-diffusion suivis de l'effondrement des parois. Lorsque la pente du terrain tombe au-dessous de 1°, notamment dans la plaine alluviale et sur le plateau, les matériaux érodés forment des dépôts respectivement sous forme de cônes et d'épandages (Fig. 3).

b) La relation entre les rigoles et les grandes termitières

On observe un lien apparent entre la tête des rigoles et les grandes termitières ou leur site lorsque celles-ci sont arasées (fig. 3). Les termitières semblent constituer une source de concentration importante des eaux de pluie qui déclenche ou entretient l'activité des rigoles. Ceci expliquerait en partie la réapparition des rigoles chaque année aux mêmes endroits.

c) La répartition spatiale des rigoles

Les rigoles sont plus nombreuses et plus profondes vers le bas du versant au niveau du contact versant-vallée encaissée. La rupture de pente qui en résulte et dont la valeur atteint des valeurs de 6, voire 10°, détermine cette répartition. En effet, bien que

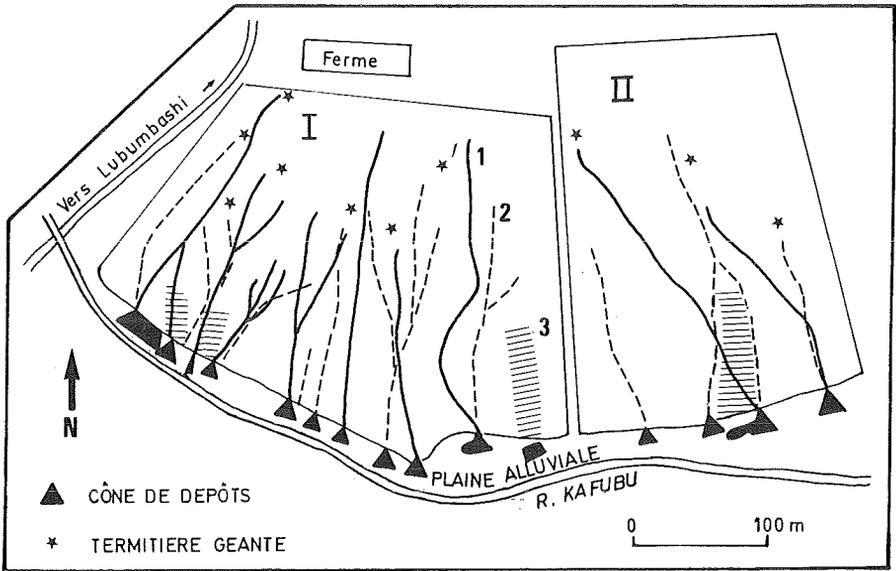


Fig. 3 : Tracés des rigoles à fond plat observées en 1981-82 (trait plein) et en 1984-85 (trait discontinu) sur les champs de culture de maïs à la ferme Mulongo (Kafubu).

progressif, le ruissellement se produit sans creusement important sur le versant. C'est à la suite du changement brusque de la pente qui renforce l'énergie érosive du ruissellement que l'encastement de l'incision progresse par érosion remontante vers le plateau à travers la culture en suivant l'itinéraire du ruissellement.

La dynamique décrite plus haut ne concerne pas l'ablation par le ruissellement diffus et en nappe fort généralisée durant le premier mois qui suit le semis de maïs. Cette forme d'érosion, difficile à mesurer, se reconnaît cependant dans les champs par des cicatrices d'ablation et des plages de colluvions de teinte grisâtre (limon, argile) ou blanchâtre (sable fin délavé) selon la nature texturale des matériaux érodés.

2. Pertes en sol

Pour faciliter la comparaison, les pertes en sol quantifiées à l'aide de la géométrie des rigoles (Tab. II) ont été groupées en fonction de trois principales formations pédologiques de la région.

Au sein des sols argileux du groupe A dérivés essentiellement des schistes précambriens, l'érosion varie de 1 à 3 t . ha⁻¹an⁻¹ (Tab. II). Parmi les facteurs de leur moindre érosion se compte, outre la texture, la forte cohésion des argiles. Il a été observé que les rigoles n'incisent, dans ce cas, que l'horizon non cohérent du sol, ameubli par le labour; par conséquent, le fond des rigoles correspond à peu près au niveau des argiles compactes non atteintes par le labour mécanique. Les incisions sont donc, dans ces formations, généralement superficielles.

Bien qu'atténuée par une texture plus grossière et une bonne perméabilité sans doute héritée de la lithologie du substrat, l'érosion de 4 à 9 t . ha⁻¹ an⁻¹ sur les sols dolomitiques (B) (Tab. II) n'est pas négligeable . Les rigoles sont profondes, 30 à 50 cm, mais évoluent sur de courtes distances à cause du manque de compétence du ruissellement.

Groupe de sols	Erosion		Simulée Ki	Erodibilité	
	Mesurée sur terrain (t.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	Simulée (g.m ⁻²)		Simulée Kn	Nomogramme Kn
A	1 - 3	299	0,20		0,12
B	4 - 9	373	0,26		0,15
C	12 - 15	721	0,50		0,23

Tab. II : Comparaison entre l'érosion et l'érodibilité des sols (A, B, C : v. Tab. I)

En ce qui concerne les sols issus des grès et du conglomérat (C) dont la texture est dominée par une fraction de sable fin caractérisée par un faible degré d'agrégation, l'érosion s'y révèle très importante : 12 à 15 t . ha⁻¹ an⁻¹ (Tab. II). La position topographique de ces sols plutôt sur les flancs des collines résiduelles, en pente plus élevée par rapport aux deux autres formations, favorise cette forte érosion. La présence fréquente, dans les profils, d'un niveau latéritique induré a joué un rôle comparable à celui du niveau compact des sols argileux sur l'encaissement des rigoles. Toutefois la nature de la cuirasse qui accélère l'hydraulique du ruissellement sur un matériau sableux privilégie l'élargissement des parois, entraînant aussi une érosion fort élevée.

Comme on peut s'en rendre compte ces données mettent en évidence le degré de sensibilité des sols aux phénomènes d'érosion décrits. La différence de sensibilité souligne le rôle très important que jouent les caractéristiques des sols (Tab. I), étant donné la similitude des façons culturales et de la plante cultivée.

Au-delà de ces différences intrinsèques, on doit reconnaître que les valeurs de l'érosion prises globalement représentent des ordres de grandeur très significatifs pour les sols de la région, en plus du fait que ces données sont comparables à celles obtenues sur culture de maïs dans d'autres régions d'Afrique tropicale (CHARREAU, 1972; LAL, 1976; HUDSON, 1958; ELWELL & STOCKING, 1973). En outre, les quantités d'érosion obtenues soit 1 à 15 t . ha⁻¹ an⁻¹ sont proches de la tolérance c'est-à-dire l'érosion maximale qui permet de maintenir le sol en place sous un climat donné. En milieu tropical humide, la tolérance est estimée entre 4 et 14 t . ha⁻¹ an⁻¹ (LOMBARDI & BERTONI, 1975). Ce qui correspond grosso modo aux valeurs limites de l'érosion sur les deux dernières formations soit 4 et 15 t . ha⁻¹ an⁻¹ si l'on tient compte du fait que la méthode utilisée a sous-estimé l'érosion globale en négligeant pour des raisons méthodologiques, l'ablation par le ruissellement diffus et en nappe.

Par contre, aucune érosion notable ne s'observe en culture de maïs sur billons, à l'exception de quelques griffes constatées par-ci, par-là lorsque les billons non entrecroisés sont mal construits ou orientés parallèlement à la pente.

	r	Nbre d'échantillons	Niveau de signification
Argile	-0,73	30	s
Limon	-0,48	30	s
Sable	+0,84	30	s
O.M.	+0,04	30	ns
Li	-0,54	30	s
Lp	-0,43	27	s
Is	-0,69	30	s
Ks	-0,54	30	s
Ip	-0,16	27	ns

Li = limite de liquidité Lp = limite de plasticité Ip, Is, Ks, (v. Tab. I)

Tab. III : Coefficients de corrélation (r) entre les caractéristiques des sols et l'érosion simulée

De la comparaison entre l'érosion sous culture et celle obtenue par le biais de la simulation au laboratoire (MITI, 1987), il se dégage une concordance remarquable, du

moins quant à l'ordre d'importance des résultats et ceci en fonction des principaux groupes de sols (Tab. I).

Par ailleurs, des corrélations ont été calculées entre les caractéristiques du sol érodé et l'érosion simulée (Tab. III). Les meilleures corrélations ont été obtenues entre l'érosion et la texture des sols. La teneur en sable favorise l'érosion ($r = + 0,88$; $n = 30$) tandis que celle en argile renforce la résistance des sols ($r = - 0,73$; $n = 30$). Contribuent aussi à la résistance des sols des caractéristiques physiques comme le degré d'agrégation et la stabilité des agrégats I_s ($r = 0,69$; $n = 30$) et la perméabilité K_s ($r = 0,54$; $n = 30$). Ces propriétés sont étroitement liées à la structure des sols. On remarque cependant que la matière organique M.O. ($r = + 0,04$; $n = 30$) et l'indice de plasticité I_p ($r = 0,16$; $n = 27$) ne produisent pas d'effets significatifs? Néanmoins la corrélation positive entre l'érosion et la M.O. de même signe que celle du rapport érosion-teneur en sable, semble insinuer le rôle que joue la M.O. dans la structure des sols argileux. En effet, des analyses ont montré que les sols argileux sont aussi érodés sous forme de micro-agrégats résistants de la dimension de sables (pseudo-sables).

3 L'érodibilité

Les écarts entre les quantités érodées sur les différents groupes de sols (Tab. I) constituent une certaine mesure de leur sensibilité aux phénomènes d'érosion, tout comme le nombre, la fréquence, la morphologie et les dimensions des rigoles peuvent servir d'expression qualitative à l'érodibilité.

Du point de vue quantitatif, l'évaluation de l'érodibilité s'est fondée sur la technique de simulation des pluies pour les indices d'érodibilité K_i et sur le nomogramme pour les indices K_n (Tab. II).

A l'aide d'un calcul basé sur les quantités de particules de sol érodé par splash et par ruissellement, MITI (1987) a obtenu les indices d'érodibilité K_i suivants : 0,20 pour les sols A, 0,26 pour les sols B et 0,50 pour les sols C (Tab. II).

Pour affermir les comparaisons entre les données de terrain et celles de la simulation, le nomogramme statistique de WISCHEMEIER *et al.* (1971) destiné à l'estimation de l'érodibilité a été utilisé. Les indices d'érodibilité K_n moyens obtenus soient 0,12 pour les sols A, 0,15 pour les sols B et 0,23 pour les sols C (Tab. II) sont relativement bas comparés aux indices K_i mais semblent être plus proches de l'érodibilité moyenne réelle. En effet, des valeurs d'érodibilité comparables ont été publiées sur les sols ferrugineux et les sols ferralitiques tropicaux (EL-SWAIFY *et al.*, 1982, p. 92-94).

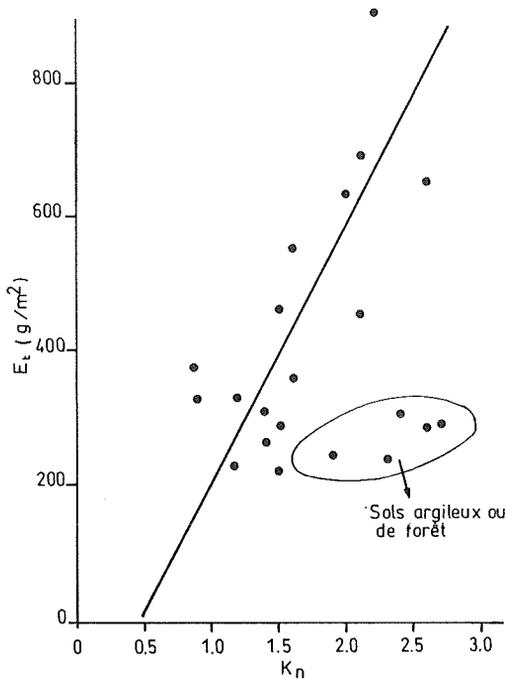


Fig. 4 : Relation entre le facteur d'érodibilité K estimé par le nomogramme de Wischmeier et al. (1971) et l'érosion simulée (E_t) $E_t = 34,4 \cdot 10^{-2} K_n - 91,2$; $r = 0,70$, pour $N = 17$

Il n'est toutefois pas indiqué de comparer ces séries de données en termes de quantité eu égard à la grande diversité des démarches qui ont conduit à leur évaluation. Par contre, on remarquera la parfaite concordance entre les trois séries de résultats en termes de classification (Tab. II et III) d'une part et d'autre part, la bonne corrélation qui existe entre les indices K_n et l'érosion simulée (Fig. 4, MITI, 1987).

DISCUSSION

Les mécanismes d'érosion par rigoles, tout comme ceux du ravinement, impliquent de multiples interactions entre les facteurs relatifs à la pluviométrie, aux propriétés du sol, au relief, à la couverture végétale et à l'hydraulique du ruissellement. D'après les observations directes effectuées sur le terrain, certains de ces facteurs exercent des actions prépondérantes susceptibles d'expliquer le fonctionnement de l'érosion, en l'occurrence le travail du sol, la pente, la couverture végétale et la nature du sol sur l'importance desquels il convient de fonder la discussion.

Néanmoins, les résultats n'ont pas été discutés en rapport avec les caractéristiques pluviométriques malgré les effets bien connus de celles-ci sur l'érosion. En effet, il n'a pas été possible d'installer le matériel nécessaire sur le terrain pour des raisons d'insécurité et l'éloignement des sites d'observation vis-à-vis des stations météorologiques existantes n'a pas permis l'utilisation des données pluviométriques disponibles.

1. *Le travail du sol*

La contribution du labour mécanique à la genèse et à l'évolution des rigoles se déduit de prime abord de la fréquence très élevée des incisions sur culture mécanisée soit 93 % contre 5 % seulement sur culture traditionnelle lorsque les billons sont orientés dans le sens de la pente. Parmi les facteurs favorables à cette érosion figurent entre autres la déstructuration du sol en surface lors du sarclage ainsi que le tassement par les engins lourds qui, tout en fournissant des éléments de sols mobilisables et en favorisant la concentration de l'eau à la suite du blocage de l'infiltration du sol, accroissent la dynamique et la compétence du ruissellement. Ces observations se vérifient car les rigoles développées sur les sols argileux n'érodent que la couche du sol ameublie, correspondant au labour qui la rend moins cohérente.

Par contre les billons, constitués de mottes de terre et de racines d'herbes attachées à la houe et qui gardent leur cohésion et maintiennent une bonne perméabilité, atténuent considérablement voire annihilent l'érosion. Bien appliquée, cette technique contrecarre le cheminement du ruissellement et s'oppose en cela au développement des rigoles.

Les écarts entre les valeurs minimales ($1 \text{ t. ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) et les valeurs maximales ($15 \text{ t. ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) de l'érosion sont trop importants (Tab. II) pour rester inexplicables. Ces écarts disproportionnés proviennent en partie de l'intégration, dans le calcul, des données récoltées sur des champs de passé cultural différent. En effet, autant les vieux champs sont sillonnés par d'importantes rigoles à cause d'une structure déjà plus dégradée du sol, autant les champs récemment labourés sont encore, grâce aux divers débris organiques, proches des conditions subnaturelles et par conséquent, moins érodés.

Il y a lieu néanmoins de retenir que ces évaluations contiennent dans leurs limites, les valeurs annuelles de l'érosion par rigoles mesurées par LOOTENS (1982, 1983) sur culture mécanisée de maïs à Luamabwe soit 3,4, 7,6 et $8,5 \text{ t. ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$.

Sans vouloir comparer les effets d'une culture à ceux de l'urbanisation, ni l'érosion agricole à celle induite par l'occupation urbaine, nous remarquons cependant que les résultats obtenus par LOOTENS et LUMBU (1986) dans un bassin versant urbanisé soit $8,5 \text{ t. ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ en moyenne confortent cette étude. Dans cette dernière étude, les taux

d'érosion de 7,4 à 12,8 t.ha⁻¹ an⁻¹, lorsque le degré d'urbanisation est fort avancé, sont du même ordre de grandeur que ceux évalués en champs de culture de maïs mécanisée, bien qu'il faille d'après LOOTENS et KISHIMBI (1986) tenir compte d'une certaine surestimation inhérente à la superficie de l'aire de drainage très réduite du bassin-versant concerné.

Des raisons existent pour lesquelles l'érosion par rigoles dépasse celle d'un bassin versant, fût-il entièrement intra-urbain. Contrairement à l'estimation volumétrique des pertes de sol, l'évaluation de l'érosion basée sur les sédiments exportés des bassins versants comporte plusieurs aléas. Il est bien connu que tous les éléments érodés d'un versant n'atteignent pas la vallée, encore moins le cours d'eau. Une grande partie de ceux-ci est retenue par l'effet de peigne lors du passage à travers la végétation, et par la sédimentation dans les marécages dans les dépressions de dimensions très diverses. La sédimentation se poursuivrait même dans certaines parties des méandres et chaque fois que la vitesse d'écoulement des cours d'eau diminue (LOOTENS & KISHIMBI, 1986; LEQUARRÉ, 1978). On sait également que les surfaces imperméabilisées ou bâties (toiture, chaussées goudronnées, surfaces bétonnées, etc.) produisent plus de ruissellement que de charge solide.

2. L'influence de la pente

Quant à la situation persistante des rigoles aux mêmes endroits (Fig. 3) à chaque saison culturale, l'étude a retenu le rôle qu'y jouent les différentes sources fixes de concentration du ruissellement comme les grandes termitières, les cailloutis et bien d'autres. Mais l'on ne peut pas négliger l'implication des ondulations imperceptibles de terrain créées par les rigoles comblées des saisons antérieures qui, sans doute non complètement aplanies par les labours, favorisent au contraire la concentration et la canalisation du ruissellement. Celui-ci érode dès lors les remblais aisément. Cette situation montre que, contrairement à ce que pensent BRYAN et LUK (1981 et LOOTENS (1982, 1983), l'érosion par les rigoles dans les champs de culture n'est pas un phénomène isolé. Les incisions sont localisées, certes, mais le comblement, qui s'opère avec de la terre provenant du reste de champs, étend l'ablation à l'ensemble de la culture et rend l'érosion plus significative à long terme.

La figure 3 suggère aussi la distribution spatiale des rigoles, plus nombreuses vers le bas de versant à l'approche de la vallée. Ceci dénote l'influence de l'accroissement de la pente qui atteint des valeurs de 6 voire 10°, dépassant de ce fait le seuil de 2 à 3° considéré par SAVAT et DE PLOEY (1982) comme la pente critique pour le déclenchement des rigoles

permanentes. Toutefois, le rôle que joue ici la pente paraît secondaire eu égard au volume d'eau qui se concentre tout au long du versant et qui retrouve dans cette zone de rupture de pente des conditions optimales d'érosivité.

Les flancs de termitières non arasées sur le plateau, bien qu'ayant des pentes supérieures à celles du terrain avoisinant et concentrant un certain volume d'eau, ne génèrent guère de rigoles à la base des termitières. En fait, la quantité d'eau provenant du tumulus d'une termitière se répartit à la base sur une surface plus grande avec comme conséquences majeures la diminution du débit unitaire et de la vitesse de cisaillement et donc une perte de l'énergie érosive de l'eau.

3. La couverture végétale

Le défrichement débarrasse le sol à cultiver de sa végétation naturelle originelle de telle sorte que le sol nu et défoncé ne sera plus protégé contre la pluie qu'en fonction de sa couverture par la plante cultivée. Il s'agit dans ce cas du maïs, une culture réputée génératrice d'érosion agricole (CHARREAU, 1972; ELWELL & STOCKING, 1973; HUDSON, 1958; LAL, 1976).

Les observations plus approfondies révèlent en fait deux facteurs importants à travers lesquels on peut comprendre l'accroissement du ruissellement et de l'érosion conséquente en culture de maïs. Il y a d'abord la couverture tardive et même déficiente du sol par les plants de maïs avant leur maturité. Ceci s'observe par l'importance des espaces de sol nu, perceptibles entre les plantes durant la période végétative qui correspond normalement, pour le Shaba méridional, aux mois de décembre et janvier caractérisés par des averses à grand débit.

A ce titre, SOYER *et al.* (1982) ont montré que le maïs, avec $188 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de particules de sol éjectées par le splash, protège mal le sol par rapport à la forêt claire même dégradée ($26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) et à la savane herbeuse ($29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$).

Le "stemflow" ou écoulement de l'eau interceptée par les feuilles le long de la tige jusqu'à la base de la plante constitue le second facteur. L'aspect foliaire des feuilles de maïs, formant une sorte de double entonnoir, augmente la capacité d'interception de l'eau des pluies. Une partie de cette eau s'égoutte vers la pointe des feuilles recourbées vers le sol, une autre coule en stemflow. Ces écoulements humectent à saturation le sol, contribuant ainsi à grossir la concentration de l'eau et son ruissellement. Il n'est pas rare que des griffes d'érosion générées par le stemflow apparaissent près de souches de plantes et se transforment ensuite en rigoles.

4. L'influence du sol

Le labour affaiblit la résistance du sol comme cela a été discuté plus haut. Mais l'érodibilité, en tant que force opposée à toute force érosive, révèle ce qui subsiste de cette résistance en fonction des propriétés intrinsèques des sols (WISCHMEIER & MANNERING, 1969), indépendamment du traitement subi. En considérant le labour et le type de plante cultivée comme une constante pour tous les sols en présence, il apparaît que l'érosion est plus prononcée dans les champs situés sur les sols d'origine grésio-conglomératiques C (12 à 15 t.ha⁻¹an⁻¹) constitués principalement de sable fin. Ce type de texture est défavorable à la constitution d'une structure stable pouvant résister au splash, au ruissellement et aux autres subprocessus de l'érosion même lors de faibles précipitations. Ces sols sont également les plus érodables lorsqu'on considère les indices d'érodibilité obtenus (Tab. II).

Outre la cohésion, l'arrêt de l'incision des rigoles à l'apparition de la couche non atteinte par le labour souligne, sur les sols argileux, le rôle combien ambivalent de la compaction. Non seulement la compaction influe sur le ruissellement, mais elle contrôle ici l'encaissement des rigoles. Les champs localisés sur les formations argileuses sont quantitativement les moins érodés car leur forte résistance mécanique réduit l'ampleur des rigoles. celles-ci ne peuvent se transformer en ravinement en dépit de grands volumes de ruissellement que concentre ce type de surface.

Profondément incisés par les rigoles, bien que sur de courtes distances, les sols B doivent leur érodibilité intermédiaire à une forte perméabilité qui, sans doute héritée de la nature géologique des roches mères calcaro-dolomitiques, rend le ruissellement incompetent à évacuer les matériaux mobilisés.

CONCLUSION

Les observations effectuées dans la périphérie de Lubumbashi montrent la persistance de l'érosion par rigoles sur les cultures mécanisées de maïs au cours des saisons culturales.

Parmi les facteurs de l'érosion essentiellement anthropique, la suppression de la végétation naturelle, la destruction de la structure et de la cohésion du sol, la couverture incomplète du sol par les plantes de maïs, l'aptitude des feuilles de maïs à intercepter l'eau des pluies grâce à leur aspect foliaire en double entonnoir, la présence de grandes

termitières et les ruptures de pente du versant conjuguent leurs effets pour la mobilisation et le transport des matériaux.

Si par leurs faibles dimensions, les rigoles paraissent moins dangereuses pour les travaux mécaniques, leurs effets sournois notamment sur la fertilité des sols peuvent s'avérer, à la longue, pernicieux d'autant plus que l'érosion qui en résulte reste imperceptible.

En ce qui nous concerne, l'érosion évaluée, qui se situe entre 1 et 15 t.ha⁻¹ an⁻¹, est loin d'être négligeable dans la mesure où ces valeurs renferment les limites de tolérance des sols tropicaux estimées entre 4 et 14 t.ha⁻¹ an⁻¹.

La concordance des rapports et ordres de grandeur entre l'érosion simulée, l'érosion mesurée sur le terrain et les indices d'érodibilité déterminés par deux techniques différentes révèle des relations étroites entre les diverses mesures d'une part et indique la possibilité et l'avantage que présentent ces techniques dans l'évaluation de la susceptibilité d'un sol à l'érosion avant sa mise en valeur d'autre part. Cette approche permettrait d'envisager des mesures anti-érosives au cours de l'exploitation des terres.

A l'heure où la culture mécanisée de maïs est pressentie au Shaba méridional comme une priorité dans le domaine agricole et compte tenu des risques d'érosion qu'elle induit partout en milieu humide, la mécanisation doit s'accompagner d'études et de mesures afin d'empêcher la perte de fertilité et d'assurer la conservation des sols pour une exploitation durable.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE, J. & ALEXANDRE -PYRE, S., 1964. Action linéaire ou en surface du ruissellement dans une région de savane (Katanga méridional) *Publ. Univ. du Congo à Elisabethville*, 7, 105-113.
- ALEXANDRE, J., 1967. L'action des animaux fousseurs et des feux de brousse sur l'efficacité du ruissellement dans une région de savane boisée (Katanga méridional). In : P. MACAR (Ed.) *L'évolution des versants*. Liège, pp. 43-49.
- BOLLINNE, A., 1982. Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en Moyenne Belgique. Thèse de doctorat, Univ. Liège, 356 p.
- BRYAN, R. & LUK, S.H. Laboratory experiments on the variation of soil erosion under simulated rainfall. *Geoderma*, 26, 245-265.
- CHARREAU, C., 1972. Problèmes posés par l'utilisation agricole des sols tropicaux par des cultures annuelles. Tropical Soils Research Symp. IITA, Ibadan.

- EL-SWAIFY, S.A., DANGLER, W.E. & ARMSTRONG, G.L., 1982. Soil erosion by water in the tropics. Res. Ext. Ser. 024, University of Hawaiï, 173 p.
- ELWELL, H.A. & STOCKING, M.A., 1973. Rainfall parameters to predict surface runoff yields and soil losses from selected field-plot studies. *Rhod. J. Agric. Res.* 11, 123-129.
- HUDSON, N.W., 1958. Runoff and soil loss from arable land in Southern Rhodesia. I.U.C.N.R., 7th Techn. Session. Athens, september 1958, 1-12.
- LAL, R., 1976. Soil erosion investigation on an alfisol in Southern Nigeria. I.I.T.A., Monograph I, Ibadan, 126 p.
- LEBLANC, M. & MALAISSE, F., 1978. *Lubumbashi, un écosystème urbain tropical*. Univ. Nat. Zaïre, Lubumbashi, 166 p.
- LEQUARRÉ, A., 1978. La végétation et l'action géomorphologique des rivières dans une région tropicale humide. Exemple de la Moyenne Kafubu. *Geo-Eco-Trop*, 1, 103-112.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J., 1975. Tolerancia de perdas de terra para solos do Estrado de SaoPaulo. *Bol. Tech. Inst. Agron.* 28, 1-12.
- LOOTENS, M., 1982. Processus d'érosion sur des champs de maïs dans le bassin de la Luamabwe (Shaba, Zaïre), *Geo-Eco-Trop*, 6, 2, 77-90.
- LOOTENS, M., 1983. Erosion agricole accélérée sur sol nu au Shaba méridional (Zaïre). *Ann. Fac. Sc. Lubumbashi*, 3, 1-6.
- LOOTENS, M. & KISHIMBI, Y., 1986. Some aspects of water and sediment discharge in the upstream section of the Kafubu river (Shaba, Zaïre). *Geografiska Annaler*, 68, 383-392.
- LOOTENS, M. & LUMBU, S., 1986. Suspended sediment production in a suburban tropical basin (Lubumbashi, Zaïre), *Hydrol. Sci. J.*, 31, 39-47.
- MALAISSE, F., BINZANGI, K. & KAPINGA, I., 1980. L'approvisionnement de la ville de Lubumbashi (Zaïre) en produits ligneux. *Geo-Eco-Trop*, 4, 1-4, 139-163.
- MALAISSE, F., BATUBENGA, K., BINZANGI, K., IPANGA, T. & KAKISINGI, M., 1983. Essai cartographique sur l'environnement et sa dynamique en milieu tropical humide : les moyens plateaux du Shaba méridional. *Geo-Eco-Trop*, 7, 1-4, 49-65.
- MIJ, R., MBENZA, M. & ALONI, K., 1989. Estimation de l'érosion dans un bassin versant urbain en région tropicale humide (Lubumbashi, Zaïre). *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 25, 53-67.
- MITI, T., SOYER, J. & ALONI, K., 1984. Splash en milieux subnaturels de région tropicale (Shaba, Zaïre). *Z. Geomorph. N.F.*, suppl. Bd 4, 75-86.
- MITI, T., 1987. Erodibilité comparée des sols de la région de Lubumbashi (Shaba, Zaïre). Thèse de doctorat, K.U.L., 235 p.
- MORGAN, R.P.C., 1977. Soil erosion. In : D. DAVIDSON & J. DAWSON, (Eds.) *Topics in applied geography*. Longman.

- SAVAT, J. & DEPLOEY, J., 1982. Sheetwash and rill development by surface flow. In R. BRYAN & A. YAIR, (Eds.), *Badland geomorphology and piping*. Geo-Books, 113-126.
- SOYER, J., MITI, T. & ALONI, K., 1982. Effets comparés de l'érosion pluviale en milieu péri-urbain de région tropicale (Lubumbashi, Shaba, Zaïre). *Rev. Geomorph. Dyn.*, 31, 71-80.
- SOYER, J. & NTOMBI, M., 1982. Variabilité spatiale des pluies à Lubumbashi, Zaïre. *Geo-Eco-Trop*, 61, 1, 1-20.
- SOYER, J., WILMET, J., 1983. Etude de l'environnement de Lubumbashi de 1973 à 1981 à l'aide de la télédétection par satellite : croissance urbaine et déboisement. *Geo-Eco-Trop*, 7, 67-81.
- SYS, C. & SCHMITZ, A., 1959. *Carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda Urundi. 9, Région d'Elisabethville (Haut Katanga)*. INEAC, Bruxelles, 70 p.
- WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J., 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sc.Soc. Am. Proc.*, 33, 131-137.
- WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C.B. & CROSS, B.V., 1971. A soil erodibility nomograph for farm land and construction sites. *J. Soil Wat. Conserv.*, 26, 189-192.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. USDA n° 437, 58 p.

