

## CONSÉQUENCES HYDROLOGIQUES DES AMÉNAGEMENTS ANTIÉROSIFS

E. J. ROOSE

Maître de Recherches en Pédologie à l'ORSTOM  
Abidjan, Côte d'Ivoire

Les aménagements antiérosifs (au sens large) sont généralement efficaces pour limiter le ruissellement. L'augmentation du taux d'infiltration qui en résulte a pour conséquence soit d'accroître l'évapotranspiration et corrélativement de réduire l'écoulement, soit d'accroître le drainage en profondeur, ce qui modifie non pas l'écoulement total annuel, mais sa répartition dans le temps. Les terrassements destinés à réduire la pente ont une action plus faible sur l'érosion et le ruissellement que les méthodes visant à accroître la densité du couvert végétal (mulch, semis dense ou précoce, fumure) ou la porosité et la rugosité du sol (labour en mottes et en courbe de niveau).

Les aménagements antiérosifs ont également une influence appréciable sur la charge solide des eaux.

*Anti-erosion works (in the wide sense of this term) are generally efficient for surface runoff restriction. The infiltration rate increase that follows results either in an evapo-transpiration increase and correlatively in a stream flow decrease or in a deep drainage increase, that changes all the distribution in time, but the annual total run-off. Terracing works have a lower effect on erosion and runoff than methods aiming at a vegetal covering densification (mulch, dense or early seedings, fertilising) or at a soil porosity or roughness increase (lumps and following the level curves ploughings).*

*Anti-erosion works have also an appreciable effect on the waters solids content.*

### INTRODUCTION

Par aménagement antiérosif, on entend toutes les techniques mécaniques et biologiques susceptibles d'être mises en œuvre pour la conservation des sols et la limitation du ruissellement.

La diminution du ruissellement peut se traduire par un accroissement de l'évapotranspiration (ETR) du tapis végétal et un allongement du cycle végétatif : il s'en suivra une diminution de l'écoulement global (ruissellement plus vidange de la nappe) à l'échelle du bassin versant. Si par contre l'évolution du ruissellement n'est pas compensée par celle de l'ETR, on peut enregistrer des remontées de la nappe phréatique (là où il y en a)

et les modifications hydrologiques portent alors principalement sur la forme des écoulements (augmentation du temps de montée, du temps de base et écrêtement des débits max. des crues) [10, 27].

Rodier et Auvray (1965) estiment que les écoulements au seuil d'un bassin versant dépendent de la forme et de la surface du bassin versant, des caractéristiques des pluies et du régime climatique, de la pente, de la perméabilité du sol et du couvert végétal. Sur les pluies et les caractéristiques morphologiques du bassin, l'homme ne peut pas grand chose. Par contre il peut mettre en action de puissants moyens mécaniques pour limiter la longueur ou l'inclinaison de la pente (terrasses, fossés, gradins, etc.), des moyens biologiques (engrais, graines sélectionnées, etc.) pour

développer le couvert végétal et combiner les deux, pour modifier l'état structural de l'horizon superficiel du sol (labour, matières organiques, mulch).

Quelques études sur parcelles d'érosion (100 à 250 m<sup>2</sup>) et sur petits bassins versants réalisées en Afrique et aux USA, permettent de quantifier l'influence que peut avoir l'aménagement du territoire agricole sur les coefficients de ruissellements annuels moyens et journaliers max. ainsi que sur les charges solides.

## 1. — IMPACT DES INTERVENTIONS MÉCANIQUES

### 1.1. Limitation de l'inclinaison et de la longueur de la pente.

Les auteurs [9, 14, 19, 22, 25, 32, 33] s'accordent pour dire que la pente joue un rôle très important sur le développement de l'érosion (croissance exponentielle des pertes en terre en fonction du % de pente). Fournier (1967) fait cependant remarquer qu'il n'est point besoin d'une forte pente pour que les phénomènes d'érosion se déclenchent sur certains sols : des pentes de 2,5 % ont dû être abandonnées en Casamance après trois années de culture mécanisée.

Par contre les résultats divergent en ce qui concerne l'influence de la pente sur le ruissellement. Wischmeier (1966), montre qu'en général sur petites parcelles le ruissellement augmente avec la pente [6 et 7], mais de façon variable

en fonction de la rugosité de la surface du sol, de sa capacité à retenir l'eau (effet éponge), du type de culture et du niveau de saturation du sol avant la pluie.

Sur les bassins versants de moins de 200 km<sup>2</sup> de l'Afrique Occidentale, Rodier et Auvray (1965) rapportent également que les coefficients de ruissellement augmentent avec la pente. Il y a cependant de nombreuses exceptions dues à la complexité de la nature des bassins. Hudson (1958) pense que le ruissellement augmente d'abord très vite avec la pente puis se stabilise au-delà de 2 à 3 % de pente. Roose (1973) a observé que sur les sols ferrallitiques sableux de la région d'Abidjan [25] le ruissellement annuel moyen (sur 5 ans) est passé de 35 % à 33 et 24 % sur des parcelles nues de pente croissant de 4,5 à 7 et 20 %. Par contre sur les sols ferrugineux tropicaux de Casamance [22], le ruissellement a crû de 16 à 30 % sur des parcelles cultivées, de pente croissant de 1,25 à 2 % (voir tableau 1).

Sur les marnes du Rif Marocain, Heusch (1970) a observé que l'érosion et le ruissellement diminuent sur des pentes de plus de 12 %.

L'influence de la longueur de la pente est beaucoup moins importante et les résultats des chercheurs sont là aussi divergents. Dans l'équation de prévision de l'érosion, Wischmeier et Smith (1960) font croître les pertes en terre proportionnellement à la racine carrée de la longueur de pente. Il existe cependant de nombreux exemples où l'érosion diminue [30] ou tout au moins se stabilise [19] au-delà d'une certaine longueur de pente.

Wischmeier (1966) rapporte qu'il n'a pas trouvé de liaison significative entre le ruissellement et

TABLEAU 1

*Evolution de l'érosion et du ruissellement (en % des précipitations) en fonction de la pente sur un sol ferrallitique sableux et un sol ferrugineux tropical.*

Adiopodoumé 1968 à 1972 : Sol nu. Sol ferrallitique très désaturé sur sables tertiaires	pente 4,5 %	7 %	20 %
Erosion (t/ha)	60	138	570
Ruiss. moyen annuel (%)	35	33	24
Ruiss. max. (%)	74	74	68
Ruiss. max. exceptionnel (%)	98	95	76
Séfa 1955 à 1962 : Cultures sarclées Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions	pente 1,25	1,50 %	2 %
Erosion (t/ha)	5	8,6	12
Ruiss. moyen annuel (%)	16	22	30

la longueur de pente sur des essais en parcelles d'érosion, menés pendant dix ans dans douze États.

En conclusion, il paraît évident que l'efficacité vis-à-vis de l'érosion et surtout du ruissellement des terrasses, banquettes et fossés de diversion est modeste et discutable sur le plan économique. C'est d'ailleurs l'avis de certains auteurs [2, 19, 20] travaillant en Afrique, bien qu'il manque des preuves chiffrées indiscutables. Par ailleurs, les terrasses et fossés d'absorption totale, ne peuvent se concevoir que pour des précipitations de moins de 400 mm, des sols relativement perméables et sans niveau de discontinuité sous peine de provoquer sur les fortes pentes (surtout sur les marnes) des glissements de terrain [12].

### 1.2. Modification de la perméabilité, de la porosité et de la rugosité de la surface du sol.

L'homme peut aussi intervenir sur l'hydraulicité d'un bassin versant en augmentant artificiellement la capacité d'absorption des eaux de pluie par le sol (combinaison de diverses techniques culturales).

Duley (1939) a montré que l'influence sur le ruissellement de l'encroûtement de la surface d'un sol est finalement plus important que le type de sol et la porosité de ses différents horizons.

Harrold (1967) pense que dans les régions où l'on craint surtout des orages d'été, intenses mais brefs, le labour profond en courbe de niveau peut retarder considérablement le démarrage du ruissellement en augmentant la rugosité de la surface du sol et sa macroporosité (pouvoir éponge = effet retardement). Le sous-solage effectué en sec sur des sols à horizon durci à faible profondeur peut augmenter l'infiltration à condition de faire éclater la masse [2, 19].

Burnell et Larson (1969) ont démontré que ce retard apporté au démarrage du ruissellement suite à un labour dépend moins de la profondeur de sol remué que de la rugosité de la surface du sol. Roose (1973) a observé que sur un sol nu ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire un labour à la houe sur 15 cm peut absorber des pluies totalisant 45 à 80 millimètres et son action sur l'érosion et le ruissellement peut se faire sentir durant 3 à 5 semaines pendant lesquelles il a plu 50 à 190 mm. Son action favorable sur la porosité du sol est donc limitée à 1 mois mais la baisse de cohésion du matériau peut entraîner par la suite une érosion plus importante si la couverture végétale n'a pas recouvert le sol pendant ce laps de temps.

Charreau (1969) a montré que, sur les sols ferrugineux tropicaux sableux du Sénégal, les matières organiques enfouies lors d'un labour pouvaient augmenter considérablement la durée de l'amélioration de la structure surtout si le labour est effectué en grosses mottes avant la saison sèche.

Mannering, Meyer et Johnson (1966) rapportent qu'en 5 ans de traitement du maïs en « minimum tillage », l'aggrégation du sol et l'infiltration (gain 24 %) ont augmenté tandis que l'érosion a baissé (de 34 %) par rapport au traitement conventionnel.

Tous les auteurs précités insistent sur l'importance qu'il y a à ne pas pulvériser la surface du sol; d'où l'idée de n'émietter que la ligne de semis et de laisser en grosses mottes recouvertes ou non de déchets de culture les interlignes. La diminution de l'érosion et du ruissellement qui en découle est considérable [18, 19, 26].

L'orientation des rugosités du sol par des façons culturales effectuées perpendiculairement à la plus grande pente (Contouring) réduit l'érosion de 25 % [32] et le ruissellement de 15 à 50 % si on laisse en place les résidus de récolte [31]. Le billonnage en courbe de niveau diminue de 50 % l'érosion [32] et le ruissellement [5], mais Hudson (1958) fait remarquer que cette solution n'est valable que sur faibles pentes et sols perméables.

## 2. — INTERVENTIONS BIOLOGIQUES

On peut constater au tableau 2 l'influence du couvert végétal sur l'érosion et le ruissellement mesurés sur parcelles expérimentales en sept stations d'Afrique de l'Ouest. Dans le milieu naturel qu'il s'agisse de forêt, de fourrés, de savane ou de prairie, l'érosion et le ruissellement sont médiocres malgré l'agressivité des pluies tropicales. La mise à feu de la savane, surtout si elle est tardive, augmente très sensiblement le ruissellement (surtout les coefficients max.) et sa charge solide [1, 29]. Mais lorsque le sol est totalement dénudé, les phénomènes d'érosion deviennent catastrophiques: à Adiopodoumé sur une pente moyenne de 7 % par exemple, les pertes en terre passent de 30 à 138 000 kg/ha/an, le coefficient de ruissellement moyen annuel de 0,1 à 33 % et le coefficient de ruissellement max. journalier de 12 à 87 %. Sous culture ces phénomènes sont intermédiaires et varient dans une très large mesure en fonction des techniques culturales et de l'intensification de l'exploitation. C'est d'ailleurs cette variation qui fonde notre espoir de dominer les

**TABLEAU 2**  
Erosion (t/ha/an) et ruissellement (% des précipitations annuelles)  
sous diverses couvertures végétales en Afrique de l'Ouest

Station	Pente	Erosion tonne/ha/an			Ruissellement % des pluies annuelles		
		milieu naturel	sol nu	culture	milieu naturel	sol nu	culture
Adiopodoumé (1954/1973) (ORSTOM)	4,5	—	60 à 90	—	—	37 (98)	—
Forêt secondaire sempervirente	7 %	0,03	100 à 170	0,1 à 90	0,14	33 (87)	0,5 à 30 (87)
2 100 mm : 4 saisons	20 %	0,2	500 à 750	—	0,7 (12) <sup>(*)</sup>	25 (73)	—
	65 %	1,0	—	—	0,7	—	—
Divo (1967-1970) (IFCC-ORSTOM) forêt semi-décidue 1 750 mm : 4 saisons	9 %	0,5	—	—	1	—	—
Bouaké (1960-1970) (IRAT-ORSTOM) Savane arbustive dense 1 200 mm : 4 saisons	4 %	b. 0,20 n.b. 0,01	18 à 30	0,1 à 26	b. 0,3 (1,6) n.b. 0,03	15 à 30	0,1 à 26
Korhogo (1967-1970) (ORSTOM) Savane arbustive claire 1 400 mm : 2 saisons	4 %	b. 0,1 à 0,2	—	—	b. 5 (50)	—	—
Ouagadougou (1967-1973) (CTFT-ORSTOM-IRAT) Savane arborée claire 850 mm : 2 saisons	0,5 %	b. 0,15 n.b. 0,01	10 à 20	0,6 à 8	b. 10 (50) n.b. 2,5 (10)	40 à 60 (70)	2 à 32 (60)
Séfa (Sénégal) (1954-1963) (ORSTOM-IRAT) Forêt claire 1 300 mm : en 2 saisons	1 à 2 %	b. 0,02 à 0,50 n.b. 0,02 à 0,20	30 à 55	2 à 20	b. 0,3 à 1,5 n.b. 0,1 à 1,2	25 à 55	8 à 40
Cotonou (Dahomey) (1964-1968) (ORSTOM) Fourré dense 1 300 mm : 4 saisons	4 %	0,3 à 1,2	17 à 27,5 après défrichement	10 à 85	0,1 à 0,9 (2,5)	17 (69)	20 à 35 (70)

*Note* : Les chiffres ( ) représentent des coefficients max. de ruissellement pendant une pluie unitaire de fréquence décennale.  
Les indications b. et n. b. signifient « brûlé » ou « non brûlé ».

problèmes d'érosion dans le cadre d'une rationalisation de l'agriculture, car si les aménagements mécaniques permettent de réduire l'érosion et le ruissellement de 15 à 50 %, l'utilisation des plantes et des techniques culturales adéquates peut réduire ces phénomènes de plus de 95 %. Il s'agit de planter tôt et dense des semences sélectionnées dans un sol profondément ameubli et suffisamment fertilisé et d'assurer une protection phytosanitaire adéquate pour obtenir la meilleure couverture végétale possible et des rendements satisfaisants sur les terres les plus favorables [6, 23, 25, 28]. Cette intervention permet d'intercepter l'énergie cinétique des gouttes de

pluie (donc de maintenir une bonne infiltration en évitant l'encroûtement du sol) et secondairement de favoriser le dessèchement des couches superficielles du sol entre deux pluies.

Hudson (1958) en Rhodésie du Sud, a démontré de façon élégante l'influence du rendement en calculant qu'il a perdu quarante fois plus de terre pour produire un sac de maïs en culture extensive qu'en culture intensive.

Wischemeier (1966) rapporte que le ruissellement sous maïs est tombé de 90 % à 40 % de ce qu'on a mesuré sur sol nu selon que les rendements augmentent de 20 à 70 quintaux à l'hectare. Fort nombreux également sont les auteurs [12, 15, 16,

25, 32] qui ont souligné l'influence d'un mulch de paille et de la distribution sur le terrain des résidus de récolte. Disons seulement qu'à Adiopodoumé un mulch de paille de quelques centimètres de hauteur réduit l'érosion (15 kg/ha/an) et le ruissellement (0,5 %) à des taux aussi négligeables que sous la forêt dense humide voisine haute de 30 mètres [25].

Wischmeier (1966) souligne le rôle important que joue la matière organique du sol et les résidus de récolte sur le taux final d'infiltration d'une pluie alors que le labour et la culture en courbe de niveau influencent surtout la somme de pluie nécessaire avant le démarrage du ruissellement.

### 3. — INTERVENTIONS MÉCANIQUES ET BIOLOGIQUES COMBINÉES

En pratique dans les aménagements antiérosifs les plus rationnels on cumule certaines interventions mécaniques et biologiques de telle sorte que le couvert végétal soit max. durant les périodes cruciales les plus humides et que les techniques culturales conservatrices protègent le sol quand la végétation fait défaut.

C'est ainsi que sont utilement combinés la culture en courbe de niveau (matérialisée par des gros billons empierrés ou enherbés, des haies vives ou des bandes d'arrêt engazonnées), l'alternance de bandes de cultures sarclées et de cultures fermées, les rotations et l'aménagement des déchets de culture. L'alternance de cultures sarclées et de prairies temporaires qui réduisent le ruissellement à moins de 5 % [13, 17, 25, 31] est bien connue tant en Amérique qu'en Afrique.

L'efficacité des bandes antiérosives enherbées en permanence a été démontrée en zone tropicale où une bande de 4 mètres de large réduit l'érosion à 1/10 et le ruissellement à 1/3 de sa valeur sous une même culture [24] tout en provoquant des atterrissements de l'ordre de 10 cm/an. En zone sahélienne où la saison sèche est longue et le bétail en surnombre, il faut lui préférer des bourrelets en terre armés de pierrailles [2, 24].

### 4. — CONCLUSIONS

L'influence des aménagements antiérosifs sur l'hydraulique d'un bassin versant est variable en fonction du type d'intervention mais la contri-

bution du couvert végétal est la plus importante tant au niveau quantitatif que qualitatif car les charges solubles et surtout solides sont très différentes dans les eaux de ruissellement et dans les eaux de nappe. Le danger de remplissage des retenues artificielles par les matériaux érodés en zone peu couverte par la végétation (sahel et zone méditerranéenne par exemple) devrait attirer l'attention des hydrologues sur l'aspect qualitatif des eaux fournies à la consommation.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] AVENARD (J.M.), ROOSE (E.J.), 1972. — Quelques aspects de la dynamique actuelle sur versants en Côte d'Ivoire. *Comm. Congrès Géogr. Phys. Montréal*, août 1972. ORSTOM, Abidjan. 25 p. multigr.
- [2] BIROT (Y.), GALABERT (J.), 1967. — Premières observations en 1966 à la station d'Allokoto. C.T.F.T., Niger/Haute-Volta. 18 p. multigr.
- [3] BURNELL (R.E.), LARSON (W.E.), 1969. — Infiltration as influenced by tillage-induced random roughness and pore-space. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33, 3, pp. 449-452.
- [4] CHARREAU (C.), 1969. — Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance. *Agron. Trop.*, 24, 9, p. 836-842.
- [5] CHRISTOI (R.), 1966. — Mesure de l'érosion en Haute-Volta. *Oléagineux*, 21, 8-9, p. 531-534.
- [6] CRADDOCK (G.M.), PEARSE (C.K.), 1938. — Surface runoff and erosion on granitic mountain soils of Idaho as influenced by range cover, soil disturbance, slope and precipitation intensity. *U.S. Dept. Agr. Cir.*, n° 482.
- [7] DULEY (F.L.), HAYS (C.E.), 1932. — The effect of the degree of slope on runoff and soil erosion. *J. Agr. Res.*, 45, p. 349-360.
- [8] DULEY (F.L.), 1939. — Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 4, p. 60-64.
- [9] FOURNIER (F.), 1967. — La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. *Sols Africains*, 12, 1, p. 5-53.
- [10] GUISCAFRE (M.J.), 1961. — Influence des aménagements antiérosifs sur l'écoulement des Mayos des Kapsiki. Bassin versant de Mogode. ORSTOM, IRCAM. 40 p. multigr.
- [11] HARROLD (L.L.), 1967. — Possible effects of plow depth on hydrology of small basins. *A.S.C.E.*, 23 p.
- [12] HEUSCH (B.), 1970. — L'érosion du Pré-rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-rif occidental. *Ann. Rech. For. Maroc*, 12, pp. 9-176.
- [13] HUDSON (N.W.), 1958. — Land use and surface run-off in Rhodesia. International seminar on flood control, drainage and irrigation. Czeckoslovakia. 18 p.
- [14] HUDSON (N.W.), 1958. — Run-off and soil loss from arable land in southern Rhodesia. *7th technical session. IUCNR. Athens*, 12 p.

- [15] MANNERING (J.V.), MEYER (L.D.), 1961. — The effects of different methods of cornstalk residue management on runoff and erosion as evaluated by simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25, 6, p. 506-510.
- [16] MANNERING (J.V.), MEYER (L.D.), 1963. — The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27, 1, pp. 84-86.
- [17] MANNERING (J.V.), JOHNSON (L.C.), MEYER (L.D.), JONES (B.A.), 1964. — The erosion control effectiveness of rotation meadows. *J. Soil Water Cons.*, 19, 3, 5 p.
- [18] MANNERING (J.V.), MEYER (L.D.), JOHNSON (C.B.), 1966. — Infiltration and erosion as affected by minimum tillage for corn (*Zea mays*). *Proc. Soil Sci. Am.*, 30, p. 101-105.
- [19] MASSON (J.M.), 1971. — L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Thèse docteur-ing. CNRS, n° AO 5445, 213 p.
- [20] MOUNIS (H.), 1963. — Hydroclimatologie. Gères Volta. Sogetha.
- [21] RODIER (J.), AUVRAY (C.), 1965. — Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale. ORSTOM-CIEH, 30 p. multigr.
- [22] ROOSE (E.J.), 1967. — Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agron. Trop.*, 22, 2, pp. 123-152.
- [23] ROOSE (E.J.), 1967. — Quelques exemples des effets de l'érosion hydrique sur les cultures. Coll. Tananarive, nov. 67. Comm. 113, pp. 1385-1404.
- [24] ROOSE (E.J.), BERTRAND (R.), 1971. — Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. *Agron. Trop.*, 26, 11, pp. 1270-1283.
- [25] ROOSE (E.J.), 1973. — Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical. ORSTOM, Adiopodoumé. 125 p. Thèse Abidjan, n° 20.
- [26] SHANHOLTZ (V.O.), LILLARD (J.H.); 1969. — Tillage system effects on water use efficiency. *J. Soil Water Cons.*, 24, 5, p. 186-189.
- [27] SPOMER (R.G.) et al., 1973. — Level terrace with stabilized backslopes on loessial cropland in the Missouri Valley : a cost-effectiveness study. *J. of Soil and Water Cons.*, 28, 3, pp. 127-131.
- [28] STALLING (J.H.), 1953. — Continuous plant cover. — the key to soil and water conservation *J. Soil and Water cons.*, 8, pp. 63-68.
- [29] VERGNETTE (de), BAILLY, BENOIT DE COIGNAC, MALVOS, 1969. — Note sur l'influence des couvertures naturelles dans la zone des Hauts-Plateaux. CTFT, Madagascar. 132 p.
- [30] VERNEY (R.), VOLKOFF (B.), WILLAIME (P.), 1967. — Etude de l'érosion sur « Terres de barre » : campagne 1965. ORSTOM. 14 p. + ann. multigr.
- [31] WISCHMEIER (W.H.), 1966. — Surface runoff in relation to physical and management factors. *Proc. First Pan Am. Soil. Cons. Congress*, Sao-Paulo, Brazil, pp. 237-244.
- [32] WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1960. — A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. *7th Intern. Congr. Soil Science L*, p. 418-425.
- [33] ZINGG (A.W.), 1940. — Degree and length of land slope as it affect soil loss and runoff. *Ag. Eng.*, 21, p. 59-64.