

## Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride

J. COLOMBANI & J. C. OLIVRY  
ORSTOM, 70-74 Route d'Aulnay, F-93140 Bondy,  
France  
R. KALLEL  
BIRH, Tunisie

**RESUME** Les régions arides et semi-arides sont caractérisées notamment par l'irrégularité très grande de leur climat. Cette irrégularité se traduit par des averses peu fréquentes mais parfois très importantes. Elles peuvent alors être à l'origine de phénomènes d'érosion et de transport solide exceptionnels. L'intensité de ces phénomènes est amplifiée par rapport à celles des averses génératrices du fait que, dans les régions considérées d'une part, un petit accroissement des hauteurs de pluie au-delà de la médiane se traduit par un accroissement en général bien plus important des écoulements et, d'autre part, que les écoulements ainsi générés, dont la période de récurrence est grande, prennent en charge les sédiments arrachés au fil des ans au bassin versant mais déposés à courte distance du fait d'un écoulement localisé et insuffisant. Des exemples de tels phénomènes sont donnés pour le Maghreb (Tunisie) et pour l'Archipel du Cap Vert (Cabo Verde). En Tunisie, les exemples donnés portent sur un petit bassin versant et sur deux grands bassins, dans l'Archipel du Cap Vert sur un petit bassin versant.

*Exceptional events in erosion and sediment transport in arid and semiarid Africa*

**ABSTRACT** Arid and semiarid regions are notable for the extreme irregularity of their climate. This irregularity is reflected by infrequent but sometimes heavy rainfalls. These rainfalls can generate exceptional erosion and sediment transport. The intensity of these processes is amplified compared with the intensity of the generating rainfalls because a small increase of the rainfall over the mean in these areas usually produces a disproportionate increase of runoff, and because runoff transports sediment detached from the slopes during preceding years but deposited in close proximity because of inadequate and localized runoff. Examples of such phenomena are described in the Maghreb (Tunisia) and in the Cabo Verde Archipelago. The Tunisian examples include a small drainage basin and two large basins, whereas that for Cabo Verde involves a small drainage basin.

21 AVRIL 1985

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 17.223

Cote B

## INTRODUCTION

La variabilité spatiale des phénomènes d'érosion et de transport solide en Afrique, tant pour l'intensité des phénomènes que pour leur régularité est très grande. Le facteur principal de ces phénomènes est évidemment l'eau. Langbein & Schumm (1958) ont depuis longtemps montré comment varie l'érosion en fonction de la pluviométrie annuelle (Fig.1). Deux facteurs agissent de façon antagoniste sur l'érosion: la pluie et la végétation. Pour qu'il y ait érosion, il est nécessaire qu'il y ait des pluies et l'érosion est une fonction croissante de la hauteur de pluie annuelle. La végétation

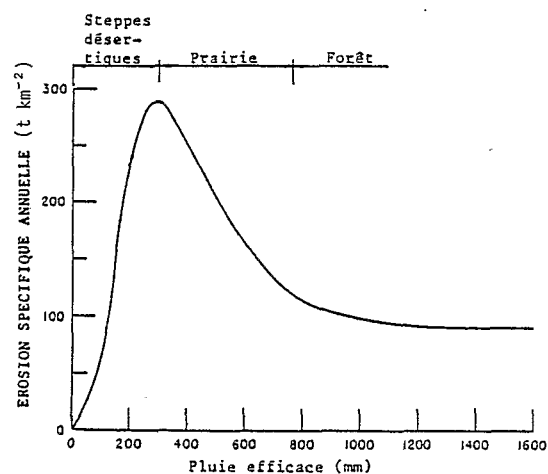


FIG.1 Diagramme schématisant la variation de l'érosion spécifique en fonction du climat. Données provenant de 100 stations réparties à travers les Etats-Unis (d'après Langbein & Schumm, 1958).

a un effet protecteur et, bien entendu, l'érosion est une fonction décroissante de la couverture végétale qui est elle-même une fonction croissante de la pluie. Ceci explique l'existence d'un maximum d'érosion, toutes choses égales par ailleurs, pour une pluviométrie annuelle relativement faible, variant suivant les régions de 250 à 450 mm environ.

Il ne faut donc pas s'étonner si les phénomènes les plus remarquables que l'on puisse observer en Afrique se situent en zone semi-aride. Mais un autre facteur intervient, c'est l'irrégularité du climat qui réduit la croissance de la végétation d'une part et qui, d'autre part, est à l'origine d'un phénomène d'accumulation des sédiments dans le réseau de drainage générateur également de phénomènes exceptionnels. Des exemples peuvent être donnés, d'une part, en Tunisie, d'autre part, en République du Cap-Vert.

## PHENOMENES D'EROSION ET TRANSPORT SOLIDE OBSERVES SUR LE BASSIN DE L'OUED ZITA, TUNISIE, EN 1973

Le bassin de l'Oued Zita, d'une superficie de 3.2 km<sup>2</sup>, est situé dans le sud Tunisien, à 36°03N de latitude et 9°45E de longitude à 20 km de la mer. Ce bassin à fortes pentes, à couverture végétale faible à nulle, a été équipé d'une station principale à son exutoire et de quatre stations secondaires permettant d'évaluer ruissellement et érosion sur différents faciès. La pluie moyenne interannuelle est de l'ordre de 170 mm par an, avec une irrégularité considérable. A Gabès, par exemple (à 30 km environ), le maximum annuel observé est de 460 mm et le minimum de 32 mm seulement! Le 12 décembre 1973, une averse remarquable s'est abattue sur la région, atteignant une hauteur ponctuelle de 300 mm en 17 h sur le bassin de l'Oued Zita (284 mm en moyenne sur le bassin versant). Cette averse, considérable lorsqu'on la compare à la pluie moyenne interannuelle, a produit un ruissellement record et une érosion remarquable. En effet, le débit de pointe a atteint 40 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup>, ce qui constitue une des plus fortes valeurs observées à ce jour dans le monde pour un bassin de cette taille. Ce ruissellement très important s'explique par une humectation préalable des sols une semaine plus tôt, par le déroulement de l'averse responsable le 12 décembre en deux épisodes, le second survenant sur un sol quasi saturé, et enfin par des intensités maximums très importantes, les deux pointes les plus fortes observées atteignant 106 et 150 mm h<sup>-1</sup> en 5 minutes. Le coefficient de ruissellement a atteint 80% pour l'ensemble de la crue.

En ce qui concerne le transport solide en suspension, les résultats à retenir sont les suivants: la concentration moyenne des matières en suspension au cours de la crue à l'exutoire est au moins égale à 47 g l<sup>-1</sup> et le maximum au moins égal à 87 g l<sup>-1</sup> (il a pu dépasser 100 g l<sup>-1</sup> selon toute vraisemblance). Le transport total en suspension atteint 34 800 t, soit 108 t ha<sup>-1</sup> ou encore plus de 7 mm "d'érosion" en rapportant le total à la surface du bassin (avec une densité en place supposée égale à 1.5). La lame érodée n'a évidemment pas grande signification physiquement, pour deux raisons essentielles. La première est que la surface du bassin est hétérogène, comportant des zones rocheuses relativement résistantes et des glacis plus érodibles. La deuxième raison est qu'une bonne part des matériaux transportés provient du réseau de drainage lui-même. En effet, les mesures faites sur les microbassins correspondant aux différents types de surface ont permis d'évaluer la part provenant de l'érosion actuelle de versants à 2 mm, 5 mm provenant de l'érosion du lit. On voit donc l'importance de l'érosion du réseau de drainage. Encore n'a-t-on pu évaluer le transport de fond qui peut atteindre de 20 à 50% du transport total. La vitesse du courant atteignant jusqu'à plus de 7 m s<sup>-1</sup>, on a observé notamment un fort creusement du lit à la station principale, on a vu un bloc massif, parallélépipédique de 10 t environ, posé sur une face plate et en partie enterré (incapable de rouler donc) se déplacer de 40 m, ceci prouve la puissance de l'écoulement. Un transport dissout important s'est manifesté puisque la salinité de l'eau, au maximum de crue atteignait 2.5 g l<sup>-1</sup>. Cet épisode de crue est donc caractérisé par une érosion intense qui est due d'une part à la forte intensité de

l'averse (d'où un ruissellement et un arrachement considérables sur les versants) et d'autre part, à un écoulement résultant très puissant qui a repris dans le lit les matériaux déposés les années précédentes par des averses de faible puissance incapables d'évacuer les apports des versants. En toute logique, si l'on veut rapporter le transport à la surface du bassin versant (évaluer une lame érodée), il faut répartir l'érosion constatée sur une période de plusieurs années (10, 20, 30 ans?). C'est dans ces zones semi-arides que le caractère intermittent du phénomène de transport solide est le plus évident.

#### CRUES DU 2 SEPTEMBRE 1981 ET DU 13 SEPTEMBRE 1981 SUR LE BASSIN VERSANT DE RIBEIRA BRAVA A VILA (REPUBLIQUE DU CAP VERT)

Le bassin versant de Ribeira Brava à Vila est situé dans l'île de Sao Nicolao dans l'archipel du Cap Vert, par 16°38N de latitude et 24°18W de longitude. D'une superficie de 6,7 km<sup>2</sup>, il présente de fortes pentes cultivées dans des terrains volcaniques sensibles à l'érosion. La pluviométrie moyenne interannuelle est de 300 mm environ. Son irrégularité est très élevée puisque certaines années on descend à presque 0 mm et les maximums par contre peuvent atteindre plus de 600 mm. Ceci est un point commun avec le bassin de l'Oued Zita en Tunisie. Le 13 septembre 1981, une averse atteignant ponctuellement 143 mm et en moyenne 128 mm s'est abattue sur le bassin. Elle avait été précédée le 2 septembre 1981 d'une averse préliminaire de 56 mm. Cette situation est analogue à celle observée en 1973 sur l'Oued Zita en Tunisie. Une averse préliminaire notable a précédé de quelques jours l'averse responsable des événements relatés. Les sols étaient ainsi déjà rechargés en eau, sinon saturés. Il en résulte une crue remarquable accompagnée d'un transport solide considérable. Le débit maximum a atteint 21,2 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup>, valeur très remarquable avec un coefficient de ruissellement de 61% pour un bassin de cette taille. Les concentrations de matière en suspension ont atteint des valeurs élevées: on a mesuré en effet 146 g l<sup>-1</sup>, la moyenne s'établissant à 104 g l<sup>-1</sup>. Il est à noter qu'au cours de la crue du 2.9, de moindre puissance, on a mesuré jusqu'à 169 g l<sup>-1</sup>. Cela s'explique sans doute par le fait que cette crue survient après pratiquement plus d'un an sans pluie notable, sur un sol desséché, sur des pentes très cultivées. Les eaux de ruissellement ont ainsi trouvé une masse de sédiments disponibles importante. Par contre, on peut estimer que le 13 septembre 1981 la crue aurait pu transporter davantage de matières, sa compétence dépassant largement le stock de matériaux disponibles. On voit ainsi combien il est difficile de prévoir les transports solides de ces cours d'eau de zone aride et semi-aride dont le régime des pluies est très irrégulier. L'érosion spécifique pour les crues des 2 septembre et 13 septembre a atteint respectivement 3360 et 8150 t km<sup>-2</sup>, soit 33,6 et 81,5 t ha<sup>-1</sup>. En quinze jours, l'érosion a ainsi atteint 115,1 t ha<sup>-1</sup> soit, avec une densité moyenne de 1,3, 8,8 mm d'érosion spécifique. Ces sédiments ont été entièrement évacués en mer. Il est à noter que le transport de fond n'a été ni mesuré, ni évalué avec précision. Dernière remarque: une crue encore plus importante a été observée les 26 et 27 septembre

1978 avec une pluie moyenne de 240 mm et un débit spécifique maximum de 37 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup>. Elle a été moins bien observée que celle de 1981, mais il est vraisemblable que l'érosion était aussi très importante.

#### CRUE DE LA MEJERDA EN MARS 1973 (TUNISIE)

La crue remarquable observée en mars 1973 dans le bassin de la Mejerda (Tunisie) est à l'origine de phénomènes d'érosion, transport solide et sédimentation notables. Principal fleuve de Tunisie, la Mejerda a un bassin de 23 500 km<sup>2</sup> à la mer. Le mois de mars 1973 a été particulièrement pluvieux sur l'ensemble du bassin, le total du mois atteignant de 3 fois à près de 8 fois la hauteur normale selon les postes pluviométriques. Après 20 jours de pluies normales pour la saison, mais présentant une très grande continuité, pluies qui ont saturé les sols, un épisode pluvieux de 3 à 4 jours a donné une hauteur de pluie de 100 à 300 mm selon les lieux. Il s'en est suivi une crue très forte avec des débits maxima de récurrence rare aux stations principales du fleuve (période de retour de 50 à 150 ans selon les stations). Le volume écoulé pendant la crue a une période de retour encore plus grande (vraisemblablement de 100 à 200 ans). On a observé d'innombrables glissements de terrain ainsi que des modifications notables du lit (coupure de méandres, éboulements de berges, voire de falaises, creusement du lit). Les conséquences de cette crue ont été très graves. Nombreuses pertes de vies humaines, ponts emportés, routes inaccessibles, inondations catastrophiques qui ont couvert plus de 473 km<sup>2</sup> dans le cours inférieur du fleuve.

Les hydrologues, préoccupés par les mesures de débits liquides exceptionnels dans des conditions très difficiles (opération en hélicoptère notamment), n'ont que partiellement mesuré les débits solides. Mais, après la crue, un relevé complet des dépôts dans les zones inondées a été fait avec l'aide de pédologues. Les résultats obtenus sont présentés en Tableau 1. Au total donc 45,2 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> se sont déposés sur 473 km<sup>2</sup>. Les dépôts ont atteint ponctuellement jusqu'à 2,5 m d'épaisseur. La densité moyenne mesurée (1,66) donne une masse totale de 75 x 10<sup>6</sup>t. Cela fait en moyenne un dépôt de 1000 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> ou 1700 t ha<sup>-1</sup>, ou encore un dépôt moyen de 10 cm sur 473 km<sup>2</sup>. Les déversements en mer ont été évalués à 25 t x 10<sup>6</sup> au minimum. Le transport total aurait ainsi atteint 100 t x 10<sup>6</sup>. Sur 6 jours d'écoulement (durée approximative

TABLEAU 1 Dépôts mesurés

Epaisseur des dépôts	Volumes (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Superficie (ha)
Traces	-	17 331
< 5 cm	5.5	13 760
5-20 cm	11.6	4 660
20-40 cm	14.8	4 930
40-80 cm	5.8	978
80-150 cm	7.5	632
TOTAL	45.2	47 291

de la crue), la concentration moyenne aurait ainsi été de  $106 \text{ g l}^{-1}$  (débit en suspension), ce qui suppose des maxima nettement plus élevés (150 à  $200 \text{ g l}^{-1}$  peut-être). L'abrasion totale sur le bassin versant est de  $4250 \text{ t km}^{-2}$ , environ 3 mm d'érosion pour une densité en place de 1.5. Il s'agit d'une érosion considérable pour un bassin de cette taille en 6 jours seulement.

#### LE ZEROUD A SIDI SAAD

A l'automne 1969, une série de crues catastrophiques ont dévasté le centre et le sud de la Tunisie. Notamment l'Oued Zeroud a fourni des écoulements énormes. A la station de mesure de Sidi Saad, le bassin versant atteint  $8950 \text{ km}^2$ . A partir du 30 août 1969 jusqu'à la fin octobre, le bassin a reçu une lame de pluie moyenne de 678 mm. L'écoulement total de ces deux mois est de  $2.636 \times 10^9 \text{ m}^3$  dont il faut retrancher la charge solide en suspension évaluée à 10% environ du débit liquide. D'où les débits suivants: écoulement d'eau  $2.4 \times 10^9 \text{ m}^3$  et  $240 \times 10^6 \text{ m}^3$  de débit solide, alors que le volume de l'écoulement annuel médian serait de  $77.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  seulement (valeur décennale  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). La pointe de crue maximum observée est de  $17\,050 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit un débit spécifique de  $1.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ , valeur considérable pour un bassin versant de cette taille.

L'érosion spécifique observée atteint  $40\,000 \text{ t km}^{-2}$  en 2 mois seulement ou encore 26.8 mm d'érosion. En fait, cette érosion devait être répartie sur 10 ou 20 ans au moins, car une grande part provient de la reprise dans le lit des alluvions déposées par des crues localisées, beaucoup moins puissantes et incapables d'évacuer les sédiments descendus des versants et des affluents. La vitesse du courant a atteint plus de  $10 \text{ m s}^{-1}$ . Le lit a été creusé par la crue sur 15 m de profondeur jusqu'à un seuil rocheux au niveau de la station et on estime le transport de fond à 40 ou 50% du total.

#### CONCLUSION

Par ces quelques exemples, nous avons voulu montrer quelques aspects spectaculaires de l'érosion en zone aride en Afrique et des caractéristiques de ces phénomènes. En particulier, l'érosion observée à l'occasion d'un épisode de crues exceptionnelles n'est souvent que l'achèvement soudain d'une érosion et d'un transport solide discontinus dans le temps et commencés bien des années plus tôt. Les transports énormes observés sont bien entendu la conséquence des écoulements exceptionnels engendrés par des pluies dépassant de beaucoup le valeur normale, phénomènes amplifiés par l'aridité cause de l'absence ou de la pauvreté de la végétation, de la faible perméabilité des sols, etc.

#### REFERENCE

Langbein, W.B. & Schumm, S.A. (1958) Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Trans. Am. Geophys. Un.* 39, 1076-1084.

## An appraisal of sediment transport measurement in Ghanaian rivers

S. A. AKRASI & N. B. AYIBOTELE

*Water Resources Research Institute (CSIR),  
PO Box M32, Accra, Ghana*

**ABSTRACT** The measurement of sediment transport encounters many difficulties in Africa. This paper outlines the approach adopted in Ghana in a recent attempt to design and establish a sediment monitoring network. Taking account of the numerous *ad hoc* sediment measurements that had been carried out over the years in connection with water projects, it was first decided to collect and synthesize these available data. From this work it was concluded that the existing *ad hoc* measurements provided a certain amount of information about sediment discharge in Ghanaian rivers. It was recommended that this knowledge should not be ignored and that the new network should be designed to confirm doubtful results and to fill gaps in the existing knowledge. A less dense network costing less to set up and operate was therefore proposed.

#### *Etude critique des mesures de transports solides effectuées sur les cours d'eau du Ghana*

**RESUME** La mesure des transports solides rencontre en Afrique de nombreuses difficultés. Cette communication indique l'approche adoptée au Ghana pour une récente tentative en vue de projeter et d'établir un réseau de surveillance des transports de sédiments. Tenant compte des nombreuses mesures de transports de sédiments occasionnelles qui avaient été effectuées pendant des années en relation avec nombreux projets hydrauliques, il a été d'abord décidé de recueillir et de faire la synthèse de ces données disponibles. A la suite de ce travail on est arrivé à la conclusion que ces mesures occasionnelles existantes fournissent une certaine masse d'informations sur les débits solides des cours d'eau du Ghana. On a recommandé que ces informations ne restent pas ignorées et que le nouveau réseau devrait être projeté de façon à confirmer ou non les résultats douteux et de combler les lacunes des connaissances actuelles. Un réseau moins dense coûtant moins cher à établir et à exploiter a donc été proposé.

#### INTRODUCTION

Ghana is situated in the western part of Africa and is located between latitudes  $5^{\circ}\text{N}$  and  $11^{\circ}\text{N}$  and longitudes  $1^{\circ}\text{E}$  and  $3^{\circ}\text{W}$ . The country is drained by two main river systems. These are the Volta

# CHALLENGES IN AFRICAN HYDROLOGY AND WATER RESOURCES

*Edited by D.E. Walling  
S.S.D. Foster  
P. Wurzel*

Proceedings of the Harare Symposium,  
July 1984, convened and organized by  
the Ministry of Water Resources and  
Development and the Department of  
Civil Engineering, University of  
Zimbabwe, in cooperation with UNEP,  
UNESCO, WMO, IAH and IAHS



IAHS Publication No. 144

1 AVRIL 1985

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 17.223 → 17.225

Cote : B