

Réponse hydrologique et érosion hydrique d'un petit bassin versant pastoral sahélien (Burkina Faso)

HAROUNA KARAMBIRI

UMR Sisyphe CNRS-UPMC, Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, F-75252 Paris Cedex 05, France

harouna.karambiri@ccr.jussieu.fr

OLIVIER RIBOLZI

UR ECU 049, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 01 BP 182 Ouagadougou 01, Burkina Faso

Résumé Un petit bassin versant (1.4 ha) a été équipé pour l'étude des processus de ruissellement et d'érosion en milieu sahélien du Burkina Faso pendant trois années (1998–2000). Les résultats hydrologiques montrent des hauteurs de pluie annuelle de 518 mm en 1998, 486 mm en 1999, et 419 mm en 2000. Quant aux lames d'eau ruisselées, elles s'élèvent à 175 mm en 1998, 109 mm en 1999 et 160 mm en 2000; soient des coefficients de ruissellement de 34%, 23% et 38%, respectivement. Les valeurs individuelles de ces coefficients de ruissellement peuvent atteindre 72% et un seul évènement peut représenter jusqu'à 40% du volume total annuel ruisselé. Les exportations annuelles de matières solides varient entre 4 t ha⁻¹ et 8.4 t ha⁻¹. Les matières en suspension représentent la forme dominante des pertes en terre; le charriage de fond représentant moins de 10%. Les exportations de sédiments durant un évènement dépendent fortement de l'importance de l'averse-crue et peuvent atteindre 4.2 t ha⁻¹ pour une pluie décennale. Ainsi, sur la période d'étude, une petite proportion (20 à 32%) des crues est responsable de la majorité (80%) des transports solides. Les exportations sous forme dissoute varient entre 8 et 27 kg ha⁻¹ et elles demeurent très faibles comparées aux matières solides.

Mots clefs Burkina Faso; érosion; ruissellement; Sahel

Key words Burkina Faso; erosion; runoff; Sahel

INTRODUCTION

Le Sahel Burkinabé connaît de nos jours de graves problèmes de dégradation des ressources naturelles: érosion des sols, désertification, perte de biodiversité; résultant de la combinaison des facteurs anthropiques (extension des cultures, surpâturage) (Collinet & Valentin, 1979; Serpentié *et al.*, 1992) et climatiques (baisse notable de la pluviométrie depuis les années 1970) (Albergel, 1987; Carbonnel & Hubert, 1992). Les ressources en eau et sol qui sont parmi les seules richesses naturelles des paysans sahéliens, se trouvent ainsi fragilisées et en nette diminution tant quantitativement que qualitativement. Cet article vise donc à quantifier les pertes en matières solides et dissoutes par érosion hydrique sur un petit bassin versant au nord du Burkina Faso afin d'en mesurer l'ampleur et déterminer l'influence des paramètres hydrologiques.

MATERIELS ET METHODES

Site d'étude

Le site d'étude se trouve en zone sahélienne au nord du Burkina Faso (14°00'20"N, 00°02'50"O) (Fig. 1), près du village de Katchari, à 13 km à l'ouest de Dori. Le climat, de type sahélien, est caractérisé par une seule saison des pluies qui va de juin à septembre. Les grandes unités pédologiques sont constituées de sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne limité en profondeur sur sables éoliens et les solonetz à structure en colonnettes de l'horizon B sur matériau argilo-sableux se développant sur granite (Boulet, 1968).

Le bassin étudié d'une superficie de 1.4 ha, situé sur un versant-glacis de pente longitudinale relativement faible (environ 1%), est représentatif du paysage sahélien. Il présente différents états de surface (Karambiri *et al.*, 2003), pouvant être classés suivant la typologie de Casenave & Valentin (1989): croûtes de dessiccation (DES), croûtes d'érosion (ERO), croûtes gravillonnaires (G) et croûtes de décantation (DEC).

La végétation est de type savane arbustive sèche composée de steppes épineuses à acacias épars. Elle se caractérise également par une strate herbacée discontinue, saisonnière et concentrée sur les placages sableux éoliens.

Mesures, prélèvements et analyses

En 1998, le bassin était équipé d'un pluviographe, d'un limnigraphe et d'un déversoir en forme de V. Cet équipement a été complété en 1999 par un débitmètre automatique

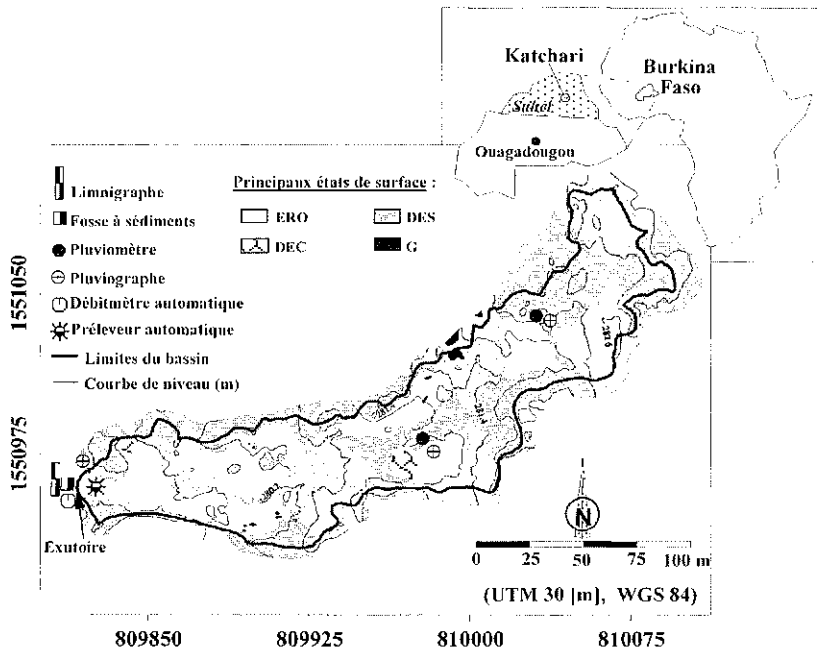


Fig. 1 Localisation, relief, états de surface et équipements du petit bassin versant de Katchari.

(ISCO 4220), un pluviographe automatique (ISCO 624), un pluviographe mécanique, deux pluviomètres et un préleveur automatique d'échantillons d'eau (ISCO 3700s, 24 bouteilles) (Fig. 1).

Les prélèvements d'échantillons d'eau à l'exutoire du bassin, d'un volume d'un litre, se font à des pas de temps de 2 à 5 minutes en crue et de 5 à 10 minutes en décrue. Après avoir bien homogénéiser les échantillons, on retient 250 ml qui sont filtrés à 0.2 μm sur des membranes millipores (acétate de cellulose, diamètre de 47 mm). Les teneurs en matières en suspension (MES) sont déterminées par évaporation des filtrats à l'étuve à 105°C. Tous les échantillons filtrés sont stockés à l'obscurité dans des glacières pour être acheminés au laboratoire pour les analyses chimiques. La charge totale dissoute représente la somme de tous les éléments majeurs en solution (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et Si).

Le charriage de fond est collecté dans une fosse à sédiment à l'exutoire du bassin après chaque crue et séché au soleil. Les quantités de MES et de matières dissoutes exportées lors d'une crue sont calculées par intégration des flux massiques (produit de la concentration et du débit) sur la durée de la crue.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Réponse hydrologique du basin

Les hauteurs de pluie journalière sur le bassin ont été obtenues en faisant la moyenne arithmétique des pluies recueillies sur tous les appareils compte tenu de la faible variabilité spatiale. La répartition de ces pluies journalières en 1998, 1999 et 2000 est présentée sur la Fig. 2. En 1998 et 2000, 25 événements pluvieux ont été enregistrés, et en 1999, nous avons enregistré 31 averses. Les cumuls des hauteurs pluviométriques s'élèvent à 518 mm en 1998, 486 mm en 1999 et 419 mm en 2000 (Tableau 1). Quant aux cumuls annuels des lames d'eau ruisselées, elles sont de 175 mm en 1998, 109 mm en 1999 et 160 mm en 2000, soient des coefficients de ruissellement annuels de 34%, 23% et 38% respectivement. On note une forte variabilité des coefficients de ruissellement au cours des crues qui peuvent atteindre des valeurs records de 72%, proche du seuil de 75% défini par Rodier (1984) pour des petits bassins versants (<12 km²) représentatifs du Sahel.

Les pluies s'étalent sur 4 mois (juin–septembre) et pour les deux premières années, le mois de juin est le moins pluvieux avec moins de 5% des cumuls annuels tandis qu'on a une bonne répartition sur les autres mois (en moyenne 32% de la pluie totale).

Tableau 1 Récapitulatif des résultats hydrologiques et d'érosion sur le petit bassin versant de Katchari pour la période d'étude.

Année	Pluie annuelle (mm)	Lame d'eau ruisselée (mm)	Matières en suspension (kg ha ⁻¹)	Charriage de fond (kg ha ⁻¹)	Charge totale solide (kg ha ⁻¹)	Charge totale dissoute (kg ha ⁻¹)
1998	518	175	6346	489	6835	22
1999	486	109	3798	210	4008	8
2000	419	160	8322	126	8448	27

En 2000, le mois de juin est plus pluvieux avec 20% du volume annuel, contre 25%, 33%, et 23% pour les mois de juillet, août et septembre, respectivement.

Les pluies comprises entre 5 et 20 mm sont les plus nombreuses. Elles représentent entre 55 et 68% des jours pluvieux, et près de 40% du volume total de la pluie sur l'ensemble des trois saisons. Les pluies supérieures à 80 mm restent peu nombreuses, mais lorsqu'elles surviennent, une seule peut bouleverser le bilan hydrologique annuel. C'est le cas de l'événement de récurrence décennale du 18 juin 2000 (85 mm) avec une intensité maximum (I_{\max}) en 5 min de 249 mm h^{-1} , qui représente jusqu'à 20% de la pluie totale annuelle et 40% du volume total ruisselé. Il faut noter qu'une autre pluie décennale de 89 mm a été enregistrée le 08/09/1998 (Fig. 2), mais compte tenu des faibles intensités (I_{\max} en 5 min = 84 mm h^{-1}), elle a moins ruisselé (coefficient de ruissellement de 53%).

Les débits maximums spécifiques les plus observés sur les trois années restent inférieurs à $25 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ qui correspondent en général à des hauteurs de pluie inférieures à 15 mm. Le nombre total de jours pendant lesquels des débits spécifiques de pointe

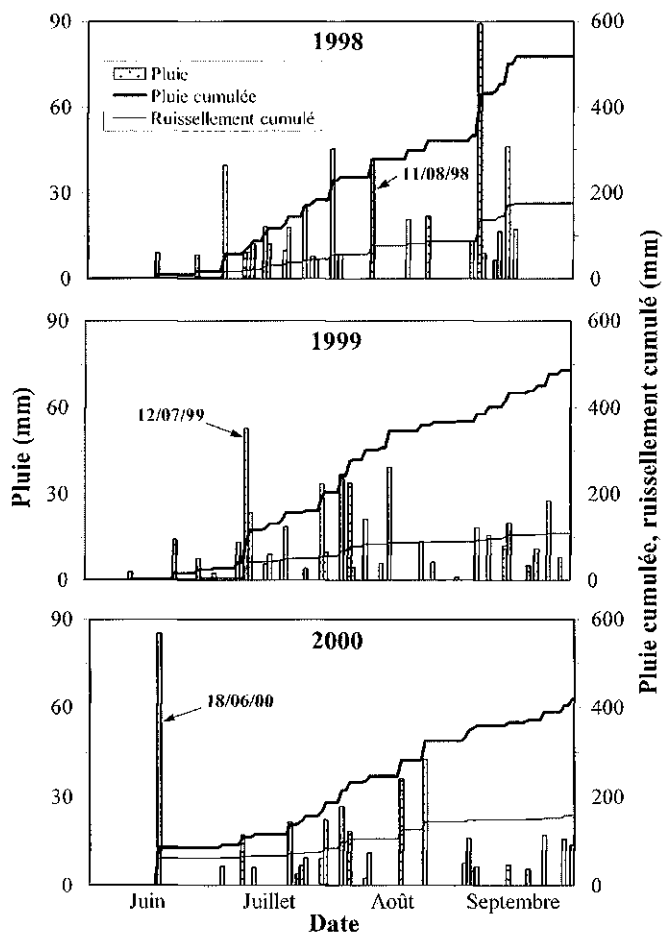


Fig. 2 Répartition de la pluviométrie sur le bassin de Katchari en 1998, 1999 et 2000.

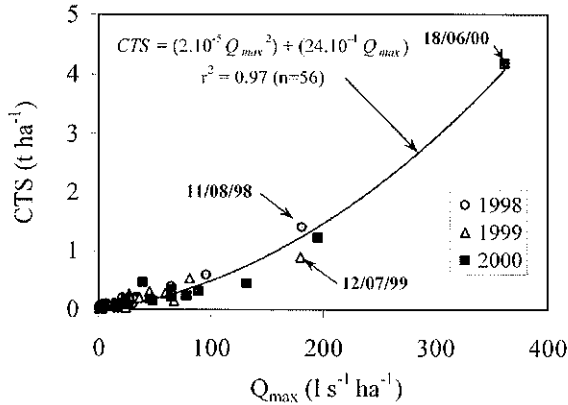


Fig. 3 Relation entre la charge totale solide (CTS) et le débit spécifique de pointe (Q_{max}) pour les crues analysées en 1998, 1999 et 2000.

entre 25 et 200 l s⁻¹ ha⁻¹ ont été enregistrés, semble constant sur les trois années (environ 10 jours). Les débits supérieurs à 200 l s⁻¹ ha⁻¹ sont rarissimes et ont été observés une seule fois, lors de la crue du 18 juin 2000. Les temps de réaction du bassin (écart entre l'heure de début de l'averse et l'heure de début d'écoulement à l'exutoire) est de 15 minutes pour 80% des averses sur la période d'étude.

Exportations de matières solides

Les exportations solides (MES + charriage de fond) ont été mesurées sur 11, 25 et 20 crues respectivement en 1998, 1999 et 2000. Les valeurs varient de 3 kg ha⁻¹ pour des petits événements à 4195 kg ha⁻¹ pour les événements rares (exemple de la pluie décennale du 18/06/00). A partir des événements analysés, nous avons cherché à estimer les pertes en terre des crues non échantillonnées. Pour ce faire, nous avons appliqué la méthode proposée par Hicks (1990) qui consiste à établir une relation entre les quantités de matières exportées et le débit maximum. La relation trouvée est de type polynomial du second degré (Fig. 3) avec un coefficient de détermination très satisfaisant ($R^2 = 0.97$). On a pu ainsi dresser le bilan des exportations annuelles de matières solides (Tableau 1). Ces exportations s'élèvent à 6.8 t ha⁻¹ en 1998, 4 t ha⁻¹ en 1999 et 8.4 t ha⁻¹ en 2000. On note que l'érosion est plus faible en 1999 par rapport aux deux autres années. En réalité, les exportations dépendent fortement de l'importance des événements averses-crues. Ainsi, en 1998, la crue du 11 août représente à elle seule 21% des exportations annuelles; en 1999, la première crue du 12 juillet compte pour 22% dans le bilan annuel et en 2000, la crue du 18 juin transporte à elle seule jusqu'à 50% de la charge totale solide annuelle. Sur l'ensemble des trois années, 80% des exportations solides sont causés par seulement 20 à 32% des crues.

Les exportations solides quantifiées sont surtout sous forme de matières en suspension (MES) et le charriage de fond représente moins de 10% (Tableau 1). Karambiri *et al.* (2003) expliquent ces faibles quantités de charriage par les propriétés morpho-pédologiques du bassin qui favorisent la sédimentation des particules grossières.

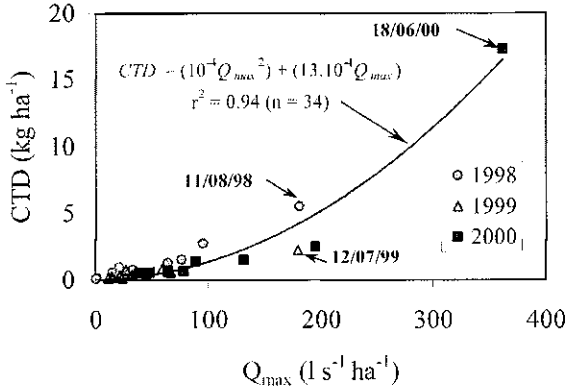


Fig. 4 Relation entre la charge totale dissoute (CTD) et le débit spécifique de pointe (Q_{max}) pour les crues analysées en 1998, 1999 et 2000.

Exportations de matières dissoutes

Les exportations dissoutes ont été déterminées pour 13, 11 et 10 crues respectivement en 1998, 1999 et 2000. Tout comme pour les matières solides, les pertes dissoutes varient énormément d’une crue à une autre et sont essentiellement liées à l’importance des événements. Pour chaque année, les plus fortes valeurs d’exportations de matières dissoutes s’observent pour les crues du 11 août 1998 (6 kg ha⁻¹), 12 juillet 1999 (3 kg ha⁻¹) et 18 juin 2000 (17 kg ha⁻¹). Afin d’estimer les pertes en composés dissous lors des crues qui n’ont pas fait l’objet d’analyses chimiques, nous avons établi le même type de relation que pour les matières solides, entre la charge totale dissoute (CTD) et le débit spécifique de pointe (Q_{max}) (Fig. 4). L’année 1999 présente les exportations dissoutes les moins élevées (8 kg ha⁻¹), alors que les deux autres années 1998 et 2000 indiquent respectivement 22 kg ha⁻¹ et 27 kg ha⁻¹ (Tableau 1). La forte valeur en 2000 est due essentiellement à la crue décennale du 18 juin qui compte pour 63% dans le bilan annuel. Les exportations dissoutes sur les trois années restent par ailleurs très faibles comparées aux exportations solides, mais présentent des tendances similaires. Ces faibles quantités dissoutes ne doivent pas pour autant faire perdre de vue leur rôle important dans ce milieu par la participation directe à la croissance de la végétation, au maintien de la cohésion et de la stabilité structurale des sols qui sont des facteurs clés conditionnant l’érosion mécanique hydrique et éolienne, ainsi que la fertilité des terres.

CONCLUSION

Cette étude a permis, d’une part de fournir des données sur l’érosion hydrique des sols (sous forme particulaire et dissoute) à l’échelle d’un petit bassin versant sahélien, et d’autre part de mettre en exergue le rôle déterminant des forts événements averses-crués dans la dynamique de dégradation du milieu naturel. Les résultats obtenus indiquent une prédominance des matières en suspension (MES) dans la charge totale solide. Quant aux exportations dissoutes, elles restent très minoritaires par rapport aux

matières solides, mais présentent des variations similaires à ces dernières. Cela suggère un contrôle de cette charge dissoute par les matières solides.

Remerciements Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier de l'Unité de Recherche 049 (ECU) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et du Programme National Sol Erosion (INSU) projet no. 99/44. Nous remercions l'Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agricole (INERA) du Burkina Faso pour la mise à notre disposition du site d'étude, ainsi que tous les techniciens de terrain.

REFERENCES

- Albergel, J. (1987) Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso: du m² au km², étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France.
- Boulet, R. (1968) Carte pédologique de reconnaissance de la Rép. de Haute-Volta (Centre Nord), 1/500 000.
- Carbonnel, J.-P. & Hubert, P. (1992) Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Remise en cause de la stationnarité des séries. In: *L'aridité, une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés* (ed. par M. G. E. Le Floch, A. Cornet & J.-C. Bille), 37-51. ORSTOM, Collection Didactiques, Paris, France.
- Casenave, A. & Valentin, C. (1989) *Les états de surfaces de la zone sahélienne: Influence sur l'infiltration*. Editions de l'ORSTOM, Collection Didactiques, Paris, France.
- Collinet, J. & Valentin, C. (1979) Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle: Nouvelles perspectives: applications agronomiques. *Cah. ORSTOM, série Pédologie XVII*(4), 283-328.
- Hicks, D. M. (1990) Suspended sediment yields from pasture and exotic forest basins. In: *Proc. 1990 NZ Hydrological Society Symposium* (Taupo, November 1990).
- Karambiri H., Ribolzi O., Delhoume J. P., Ducloux J., Coudrain-Ribstein A., Casenave A. (2003) Importance of soil surface characteristics on water erosion in a small grazed Sahelian catchment. *Hydrol. Processes* (sous presse).
- Rodier, J.-A. (1984) Caractéristiques des crues des petits bassins versants représentatifs au Sahel. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. XXI*(2), 3-25.
- Serpentié, G., Tezenas Du Montcel, L. & Valentin, C. (1992) La dynamique des états de surface d'un territoire agropastoral soudano-sahélien, conséquences et propositions. In: *L'aridité, une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés* (ed. par M. G. E. Le Floch, A. Cornet & J.-C. Bille), 419-447. ORSTOM, Collection Didactiques, Paris, France.