

Harouna KARAMBIRI

Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural
03 BP 7023 Ouagadougou 03 Burkina Faso
Tél: (226) 30 71 16/17, Fax: (226) 31 27 24
E-mail: Harouna.Karambiri@eieretsher.org

Olivier RIBOLZI

URO49, Institut de Recherche pour le Développement, INRA-INAPG, bât. EGER, aile C, Thiverval-Grignon, 78850, France
Tél: (33) 6 16 04 19 38
E-mail: olivier.ribolzi@grignon.inra.fr

Caractérisation des événements averses-crués et de l'érosion hydrique à l'échelle d'un petit bassin versant pastoral sahélien (nord du Burkina Faso)

Characterisation of rainfall-runoff events and water erosion at the scale of a small grazed sahelian catchment (north of Burkina Faso)

RESUME

Les événements averses-crués et l'érosion hydrique ont été suivis pendant trois années (1998-2000) sur un petit bassin versant (1.4 ha) en milieu sahélien du Burkina Faso.

Les résultats hydrologiques montrent que les hauteurs de pluie mesurées au sol sont supérieures de 27% à celles mesurées à 1 m du sol (appareils standards). Les cumuls annuels de pluie s'élevèrent à 518 mm en 1998, 486 mm en 1999 et 419 mm en 2000, avec des coefficients de ruissellement de 34%, 23% et 38% respectivement. Les valeurs individuelles de ces coefficients de ruissellement peuvent atteindre 72% et un seul événement peut représenter jusqu'à 40% du volume total annuel ruisselé et 20% de la pluie annuelle. On note, à l'échelle du bassin versant, une certaine hiérarchisation des processus hydrologiques en fonction des caractéristiques des averses et des états de surface.

En ce qui concerne l'érosion hydrique, les exportations annuelles de matières solides se chiffrent à 6.8 t/ha en 1998, 4.0 t/ha en 1999 et 8.4 t/ha en 2000. Les matières en suspension représentent la forme dominante (plus de 90%) des pertes en terre; le charriage de fond représentant moins de 10%. Les exportations de sédiments durant un événement dépendent fortement de l'importance de l'averse-cruée et peuvent atteindre 4.2 t/ha pour une averse-cruée importante (Pluie = 85 mm et débit spécifique de pointe = 362 l/s/ha). Ainsi, on trouve que sur la période d'étude, une petite proportion (entre 20 et 32%) des événements averses-crués est responsable de la majorité (environ 80%) des transports solides. Ces résultats semblent être des traits caractéristiques du milieu sahélien. Une comparaison avec quelques données de pertes en terre de ce milieu, fait ressortir une décroissance des taux d'érosion avec la taille du bassin versant étudié, ce qui traduit l'importance des effets d'échelle dans les processus d'érosion hydrique.

Mots clés : Erosion hydrique, averses-crués, petit bassin versant, Sahel, Burkina Faso.

ABSTRACT

Rainfall-runoff events and water erosion were monitored during three years (1998-2000) on a small catchment (1.4 ha area) in the sahelian zone of Burkina Faso.

The hydrological results showed that rainfall measured at the ground level was 27% superior to that measured at one meter-height by standard rain gauges. The annual rainfall amounted to 518 mm in 1998, 486 mm in 1999 and 419 mm in 2000, with runoff coefficients of 34%, 23% and 38% respectively. The individual values of these coefficients can reach 72% and a single event can represent until 40% of the annual runoff total volume and 20% of the annual rainfall. We noted, at the catchment scale, a certain hierarchical organization of hydrological processes according to the rainfall and soil surface characteristics.

As regards water erosion, the annual exports of solid matters amounted to 6.8 t/ha in 1998, 4.0 t/ha in 1999 and 8.4 t/ha in 2000. Suspension matters represented the dominant form (more than 90%) of the soil losses; the bedload representing less than 10%. The sediment exports during an event depended strongly on the importance of the rainfall-runoff and reached 4.2 t/ha for an important event (rainfall = 85 mm and specific maximum discharge = 362 l/s/ha). Thus, we found that, over the study period, a small proportion (between 20 and 32%) of the rainfall-runoff events was responsible for the major part (about 80%) of the solid transport.

These results seem to be characteristic features of the Sahelian zone. A comparison with some soil loss data of this area, showed a decrease of erosion rates when the size of the studied catchments increased, which highlighted the importance of scale effects in water erosion processes.

Key words: Water erosion, rainfall-runoff, small catchment, Sahel, Burkina Faso.

INTRODUCTION

Le milieu sahélien peut être considéré comme un écosystème défini par des conditions spécifiques d'aridité (Levang, 1978 ; Grouzis, 1988) avec un caractère saisonnier et sporadique des pluies, de fortes intensités et une grande variabilité des précipitations, une longue durée de la saison sèche, une forte intensité de l'évaporation, une précarité de la réserve en eau du sol et une couverture végétale d'allure step-pique. C'est une zone qui présente des caractères fluctuants pour ce qui est des variables écologiques, où les équilibres biologiques sont fragiles et peuvent être rompus à tout moment.

La sécheresse que connaît le Sahel depuis les années 1970, s'est traduite sur le plan climatique par une descente en latitude des isohyètes inter-annuelles entraînant une baisse de la pluviométrie annuelle (Albergel, 1987 ; Servat *et al.*, 1996 ; L'hôte *et al.*, 2002), une diminution des hauteurs de pluie supérieures à 40 mm (Albergel *et al.*, 1984 ; Carbonnel et Hubert, 1992), une perte de stationnarité des séries pluviométriques rendant inadéquates les lois statistiques classiques d'ajustement (Carbonnel *et al.*, 1990 ; Carbonnel et Hubert, 1992 ; L'hôte *et al.*, 2002) et une diminution du nombre de jours pluvieux, surtout aux mois de juillet et août (Carbonnel et Hubert, 1992 ; Le Barbé et Lebel, 1997).

Cette sécheresse n'a en réalité rien changé à l'agressivité des pluies (Valentin, 1994) et aux

caractéristiques des événements extrêmes telles que la hauteur maximale de la pluie journalière de fréquence décennale (Albergel, 1987).

On assiste donc aujourd'hui à une dégradation du milieu naturel sahélien (érosion des sols, perte de biodiversité, désertification...), due à une aridification climatique, mais aussi à une aridification édaphique liée essentiellement à la dégradation des états de surface (Claude *et al.*, 1991 ; Mahé *et al.*, 2002). Cette dégradation se trouve aggravée et accélérée par de fortes pressions anthropiques (extension des surfaces cultivées, techniques culturales inappropriées, durées de mise en jachère de plus en plus courtes, surpâturage, etc.) (Collinet et Valentin, 1979 ; Roose, 1986 ; Albergel *et al.*, 1992 ; Serpenté *et al.*, 1992).

Pour mieux comprendre cette dégradation du milieu sahélien, il est indispensable d'entreprendre des études fines qui prennent en compte la dynamique interne des bassins versants, cela afin de mieux prévoir l'évolution du milieu et mieux adapter les politiques d'aménagement (Roose, 1986). C'est ainsi que cette étude, qui porte principalement sur l'érosion hydrique des sols dans le Sahel burkinabé (pluviométrie comprise entre 300 et 600 mm), vise à quantifier les pertes en terre au cours des événements averses-crués qui constituent des phases de crise pendant lesquelles s'expriment les processus de dégradation du milieu. L'échelle d'espace retenue pour mieux appréhender ces processus

est celle du petit bassin versant (Karambiri, 2003 ; Karambiri *et al.*, 2003).

MATERIELS ET METHODES

Site d'étude

Le site d'étude se trouve en zone sahélienne du Burkina Faso (14°00'20" N, 00°02'50" O) (Figure 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 allant de juin à septembre. La pluviométrie moyenne annuelle à Dori est de 512 mm sur la période 1925-1998 (Casenave, 1998). Les températures moyennes mensuelles sur la période 1926-1984 varient de 23° en janvier à 33° en avril. L'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne annuelle pour la période 1969-1985 est de 2396 mm.

Le bassin versant étudié a une superficie de 1,4 ha. Il est situé sur un versant-glacis de pente longitudinale relativement faible (environ 1%) et est représentatif du paysage sahélien (Biaou *et al.*, 1999). Ce bassin appartient au site expérimental de l'INERA (Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agricole du Burkina Faso) qui est en zone exclusivement pâturée.

Le bassin versant présente quatre types d'états de surface (Karambiri, 2003), pouvant être classés suivant la typologie de Casenave et Valentin (1989) : croûtes de dessiccation (DES), croûtes d'érosion (ERO), croûtes gravillonnaires (G) et croûtes de décantation (DFC).

Les grandes unités pédologiques

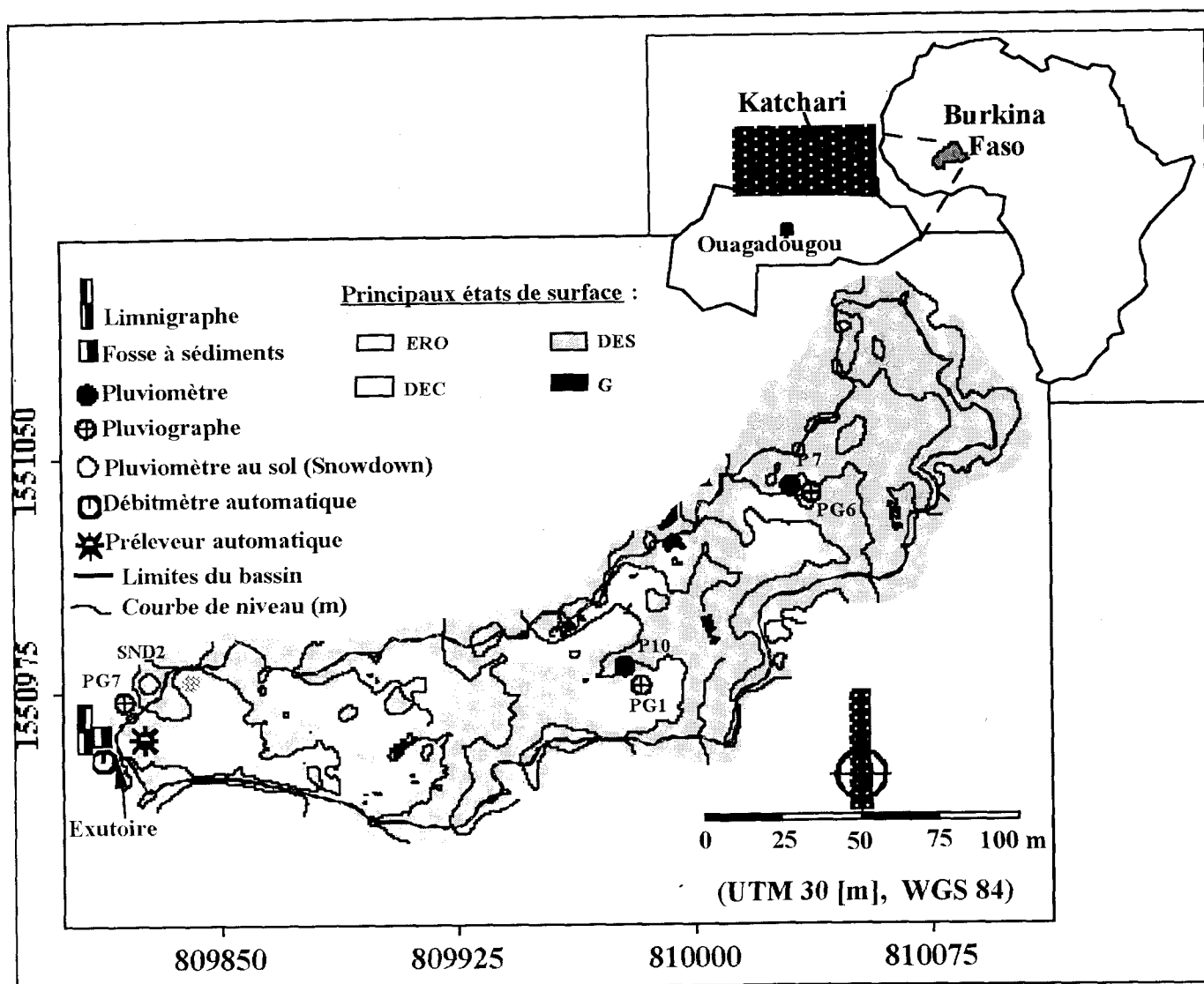


Figure 1. Localisation, topographie, états de surface et équipements du petit bassin versant étudié.

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). 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 généralement recouverts de croûtes DES.

Equipements, prélèvements et analyses

Les mesures sont réalisées en période pluvieuse et se sont étalées sur trois années (1998-2000). En 1998, le bassin était équipé d'un pluviographe (PG1), d'un limnigraphe, d'une fosse à sédiments et d'un déversoir en forme de V. Cet équipement a été complété en 1999 par un débitmètre automatique ISCO 4220, un pluviographe automatique ISCO 624 (PG7), un pluviographe mécanique (PG6), deux pluviomètres standards (P10 et P7), un pluviomètre au sol de type Snowdown (SND2) et un

préleveur automatique d'échantillons d'eau (ISCO 3700s, 24 bouteilles) (Figure 1).

Les prélèvements d'échantillons d'eau (1 litre) à l'exutoire du bassin, 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 milipores (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.

Le charriage de fond est collecté dans la fosse à sédiments à l'exutoire du bassin après chaque crue et séché au soleil. Les quantités de MES 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

Caractérisation des pluies

détermination de la pluie au sol

Les mesures faites au pluviomètre au sol de type Snowdown (SND2) ont été comparées à celles sur le pluviographe PG7 à 1 m du sol (selon les normes de l'Organisation Météorologique Mondiale) le plus proche (distant d'environ 10 m). Ces mesures concernent uniquement les années 1999 et 2000, et les événements pour lesquels les deux appareils ont fonctionné. Nous

avons pu ainsi enregistrer 35 événements pluvieux dont 22 en 1999 et 13 en 2000.

Les résultats, présentés sur la Figure 2, permettent d'établir une relation de type linéaire et très satisfaisante (coefficient de détermination $r^2 = 0.98$) entre la pluie au sol et la pluie à 1 m sur le bassin versant de Katchari.

On note que la pluie mesurée à 1 m du sol est 27% plus faible que la pluie mesurée au sol. Cela pose le problème de la représentativité des données pluviométriques faite à partir des appareils classiques, étant donné que c'est la pluie au sol qui intervient dans les bilans hydriques et les processus de ruissellement et d'érosion au niveau du bassin versant (Casenave et Valentin, 1989; Casenave, 1998). Cette différence entre la pluie au sol et la pluie à 1 m du sol s'explique par l'influence du vent qui établit autour du seau du pluviomètre ou pluviographe à 1 m, considéré comme un obstacle aérodynamique, une zone tourbillonnaire qui modifie la trajectoire des

gouttes de pluie (Chevallier *et al.*, 1985; Sicot, 1991). La végétation clairsemée contribue à augmenter ce phénomène. A partir d'études menées en Afrique de l'Ouest, Chevalier et Lapetite (1987) cités par Casenave et Valentin (1989), montrent une augmentation du rapport entre la pluie au sol et la pluie à 1 m lorsqu'on passe des basses latitudes (5°) aux hautes latitudes (17°).

Ce rapport varie en général entre 1 et 2; il est à mettre en relation avec la diminution croissante de la végétation et l'augmentation de la vitesse du vent du sud au nord (Chevallier *et al.*, 1985). Il est donc clair que la sécheresse persistante au Sahel, avec une disparition progressive de la végétation et une extension des zones nues devrait conduire à une révision des méthodes de mesures pluviométriques classiques.

La relation trouvée a été utilisée par la suite pour estimer la pluie au sol sur tous les autres pluviomètres et pluviographes sur le bassin pour les trois années de mesure.

variations saisonnières et inter-annuelles

Nous avons enregistré au total 25 événements pluvieux en 1998, 31 en 1999 et 25 en 2000. Compte tenu de la faible variabilité spatiale des pluies journalières (Karambiri, 2003), les pluies moyennes journalières sur le bassin versant ont été déterminées pour chaque année en faisant les moyennes arithmétiques des cumuls obtenus au niveau des différents pluviomètres et

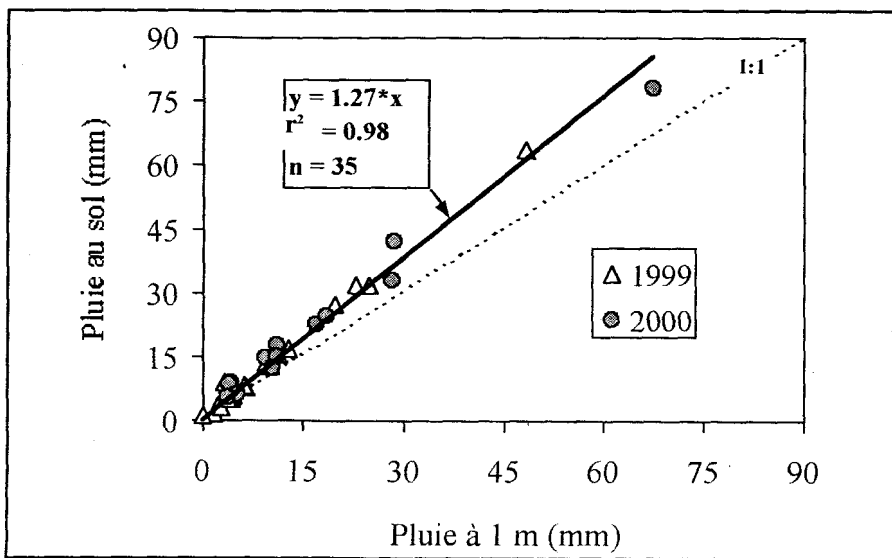


Figure 2 : Relation entre la pluie au sol au SND2 et la pluie à 1 m du sol au PG7.

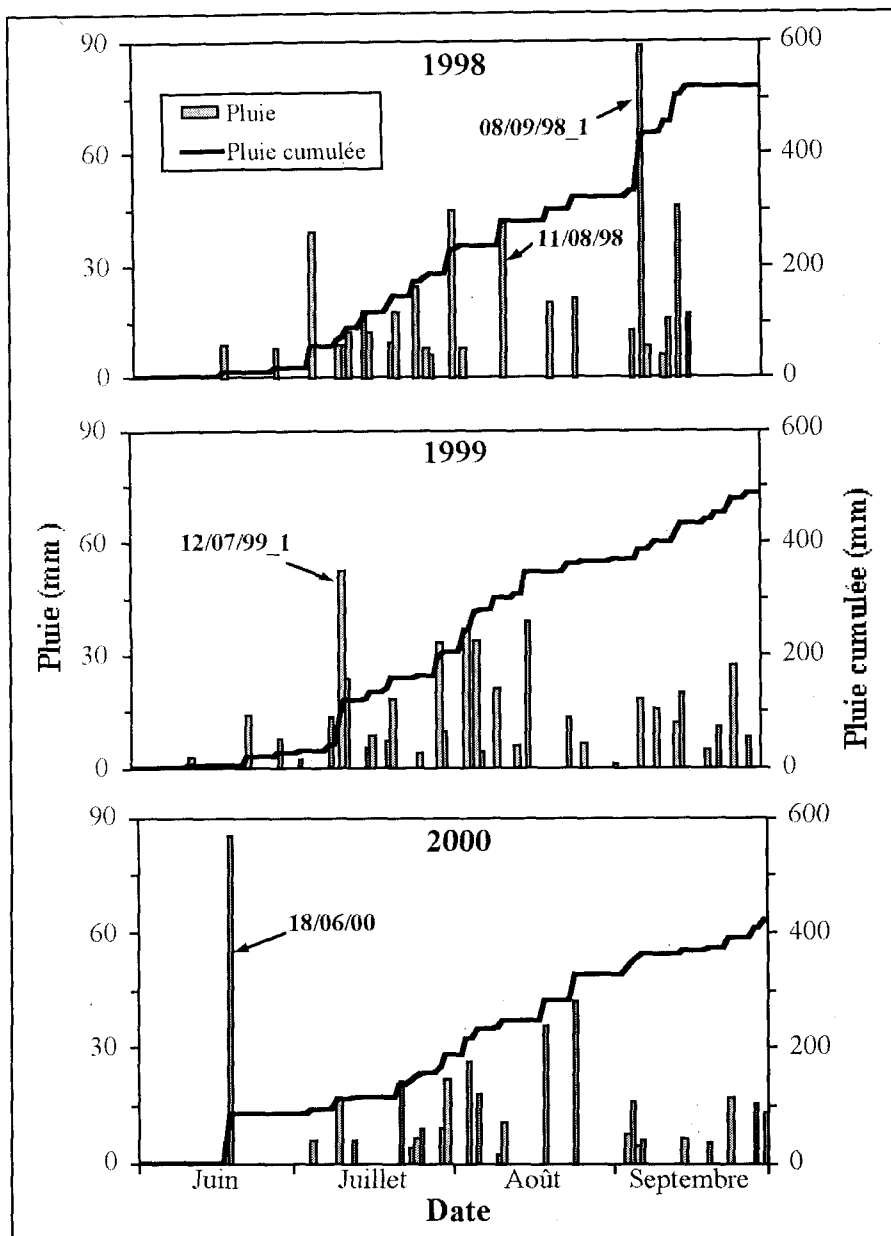


Figure 3 : Répartition des averses et évolution du cumul de pluie pendant les hivernages 1998, 1999 et 2000 sur le bassin versant de Katchari.

pluviographes. La répartition de ces pluies moyennes journalières au cours des saisons 1998, 1999 et 2000 est représentée sur la figure 3. Les hauteurs de pluies journalières présentent une forte hétérogénéité au cours d'une même saison et d'une année à une autre.

Les débuts de saison sont semblables sur les trois années (première averse le 18 juin en 1998 et 2000, et le 12 juin en 1999). Si les deux premières années com-

mencent avec des pluies faibles (< 10 mm), la troisième année débute avec une grosse averse de 85 mm.

Sur l'ensemble de la saison des pluies, le nombre maximal de jours secs consécutifs (sans pluie) est de 10 en 1998 et 1999, et de 15 en 2000. On observe une diminution de la durée réelle totale annuelle des pluies qui passe de 36 heures en 1998 à 29 heures en 1999 et 25 heures en

2000. Les cumuls annuels de pluie subissent également une diminution passant d'une pluviométrie de 518 mm en 1998 à 486 mm en 1999 et 419 mm en 2000.

Sur les trois années, nous avons enregistré deux averses journalières de hauteurs importantes (> 80 mm). Il s'agit des événements du 08/09/98_1 et du 18/06/00 avec des hauteurs de pluie de 89 mm et 85 mm et des intensités maximales en 5 minutes de 107 mm/h et 317 mm/h respectivement. Ces averses représentent à elles seules 17% et 20% du volume total annuel précipité en 1998 et 2000.

La répartition des cumuls mensuels des pluies indique sur toute la période d'étude, un mois de juin moins pluvieux ; il représente moins de 5% des cumuls annuels des pluies en 1998 et 1999, et jusqu'à 20% en 2000 dû au seul événement du 18 juin. Les pluies sont relativement bien réparties sur les trois autres mois (juillet, août et septembre) qui représentent entre 23 et 38% de la pluie totale annuelle.

Caractérisation des écoulements

analyse du ruissellement sur le bassin

La répartition des lames d'eau ruisselées est présentée sur la Figure 4. La quasi-totalité des pluies enregistrées ont donné lieu à un ruissellement à l'exutoire du bassin, à l'exception de quelques traces de pluie. 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) sont inférieurs à 15 minutes pour 80% des averses sur les trois années et celles-ci regroupent environ 57% des averses de plus de 10 mm. Cette réaction dépend fortement des caractéristiques des averses (hauteur, intensité), des propriétés morpho-pédologiques (distribution spatiale des états de surface) et des conditions hydriques initiales du bassin. Elle est souvent instantanée (< 2 minutes) pour des pluies importantes.

Les cumuls annuels des lames ruisselées s'élèvent à 175 mm en 1998, 109 mm en 1999 et 160 mm en 2000 (Figure 5), ce qui correspond à des coefficients de ruissellement moyens annuels de 34%, 23% et 38% respectivement. Il faut noter que la valeur élevée en 2000 tient essentiellement à l'averse du 18/06/00 qui représente près de 40% du volume total ruisselé. Ces valeurs annuelles ne doivent pas cacher la forte variabilité des coefficients de ruissellement au cours des crues qui peuvent atteindre des valeurs records de 72% (événement du 18/06/00), valeur très proche du seuil de 75% défini par Rodier (1984) pour des petits bassins versants (< 12 km²) représentatifs au Sahel.

analyse des débits maximums de crue

Les débits maximums enregistrés à l'exutoire du bassin restent très variables d'une crue à une autre et comparables aux débits maximums décennaux mesurés dans la région (Figure 5). En effet, sur des petits et moyens bassins versants de la mare d'Oursi (situé à environ 100 km au nord de

Katchari) : Outardes (16.5 km²), Polaka (9.14 km²), Tchalol (9.28 km²), Taïma (105 km²), Jalafanka (0.809 km²), Kolel (1.05 km²) et Gountouré (24.6 km²), les débits maximums décennaux déterminés restent inférieurs à 20 m³/s/km² (Chevallier *et al.*, 1985) ; alors qu'on observe à Katchari des valeurs supérieures pouvant même atteindre 36 m³/s/km² pour la grosse averse du 18/06/00. Ces forts débits de pointe pourraient s'expliquer par la petite taille du

bassin versant de Katchari (0.0137 km²) qui offre des temps de réponse rapides et courts ainsi que par la nature des sols en place, notamment les croûtes superficielles qui limitent l'infiltration.

Quant aux lames d'eau ruisselées, elles sont en général inférieures aux valeurs décennales des bassins de la mare d'Oursi. Les deux averses (08/09/98_1 et 18/06/00) produisent des lames d'eau ruisselées de 47 et 62 mm, comparables aux

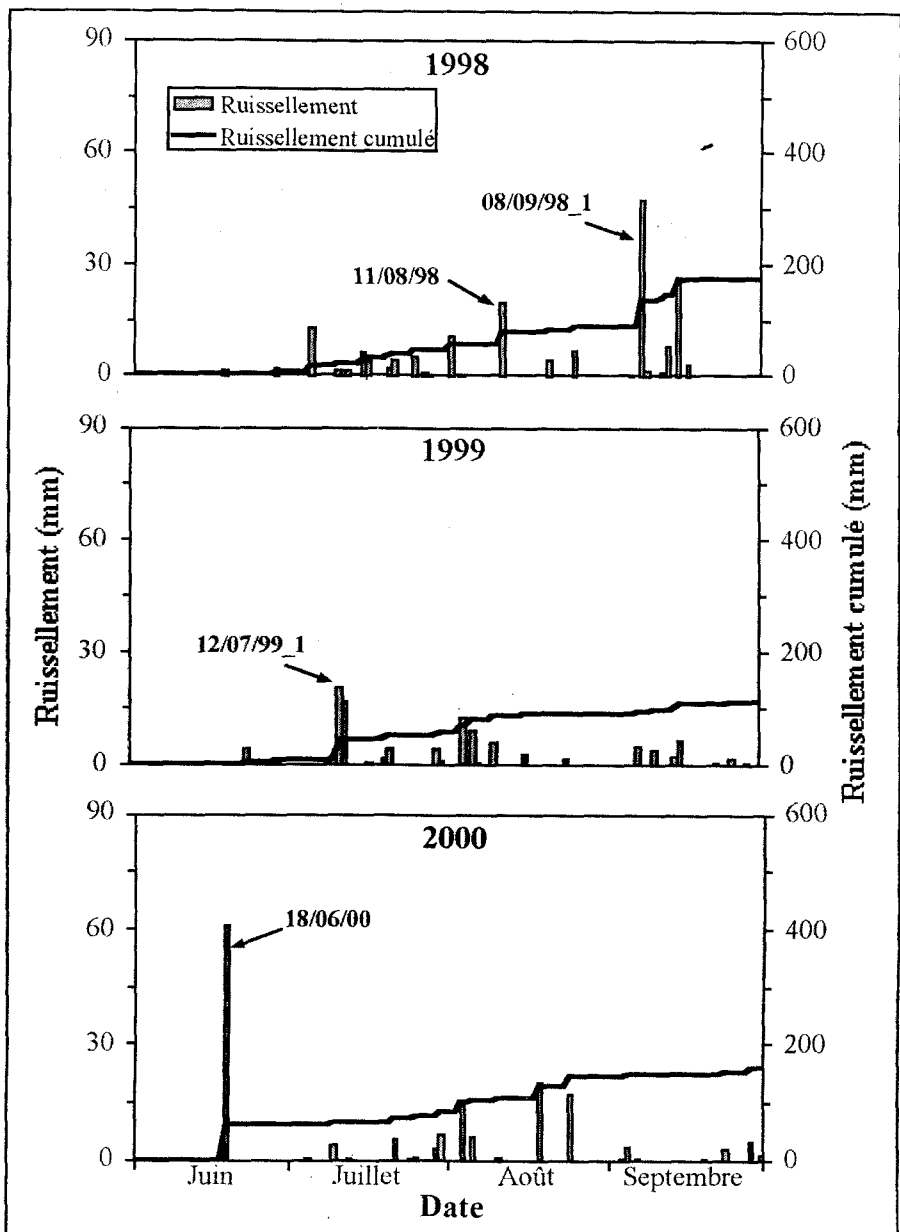


Figure 4 : Répartition lames d'eau ruisselées et évolution du cumul du ruissellement pendant les hivernages 1998, 1999 et 2000 sur le bassin versant de Katchari.

valeurs décennales de la région. On note sur la Figure 5, une bonne relation ($r^2 = 0.85$) entre le débit maximum spécifique et la lame d'eau ruisselée pour l'ensemble des crues observées (1998-2000) à l'exutoire du bassin de Katchari. Ce trait est caractéristique du milieu sahélien et permet de mettre en évidence le fait que la forme des crues varie peu (Chevallier et al., 1985).

Caractérisation de l'érosion hydrique

exportations solides à l'exutoire du bassin

A l'exutoire du bassin versant, 15 crues sur un total de 25 ont été échantillonnées et analysées en 1998 ; 25 crues sur 31 en 1999 et 24 crues sur 25 en 2000. Les résultats montrent une forte variabilité inter-annuelle et intra-annuelle des quantités de

matières solides exportées. Ces dernières sont liées à l'importance des événements averses-crues. Les valeurs individuelles vont de 3 kg.ha⁻¹ pour les faibles événements (Pluie = 7 mm et $Q_{max} = 0.8$ l/s/ha) à 4195 kg.ha⁻¹ pour les forts événements (Pluie = 85 mm et $Q_{max} = 362$ l/s/ha). Afin d'estimer les exportations solides des crues non échantillonnées à l'échelle du bassin versant, nous avons utilisé la méthode proposée par Hicks (1990) qui peut être décrite comme suit : (1) mesurer avec précision les sédiments exportés pour un ensemble de crues échantillonnées, (2) déterminer, à partir de ces échantillons, la relation entre les quantités de sédiments et les débits de pointe des crues, et (3) utiliser cette relation pour estimer les quantités de sédiments des crues non échantillonnées.

L'on pourrait aussi estimer les quantités de sédiments des crues non échantillonnées en passant par la méthode traditionnelle qui consiste à établir une relation linéaire en échelles logarithmiques entre les concentrations des sédiments (surtout les matières en suspension) et les débits liquides instantanés. Mais plusieurs études ont montré que les résultats ne sont pas satisfaisants (Loughran, 1976 ; Walling et Webb, 1976 ; Ferguson, 1987) à cause des effets d'hystérésis.

La méthode proposée par Hicks (1990) a également été utilisée avec succès par Basher *et al.* (1997), ainsi que Fahey et Marden (2000) sur des petits bassins versants en Nouvelle

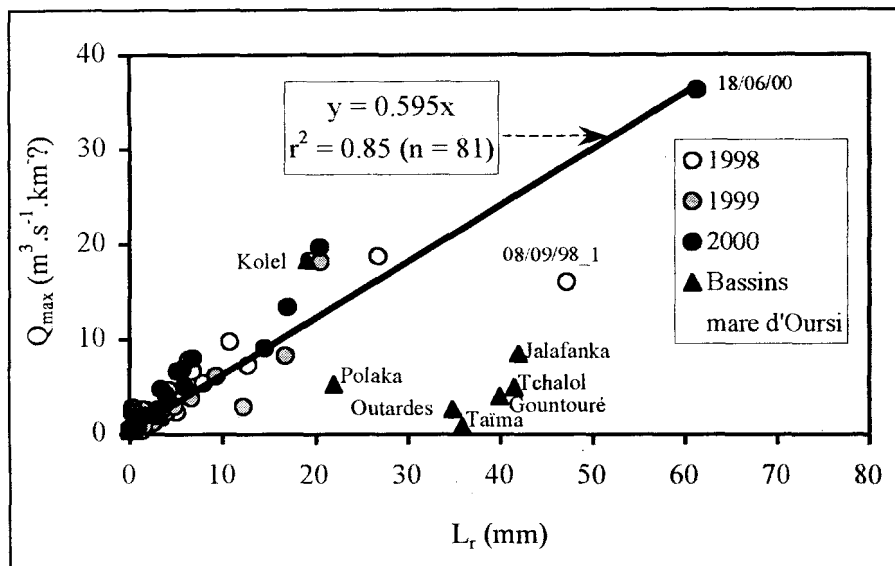


Figure 5 : Relation entre le débit de pointe (Q_{max}) et la lame d'eau ruisselée (L_r) sur le bassin versant de Katchari et comparaison de ces caractéristiques (Q_{max} et L_r) à celles des petits bassins versants de la mare d'Oursi (environ 100 km au nord de Katchari).

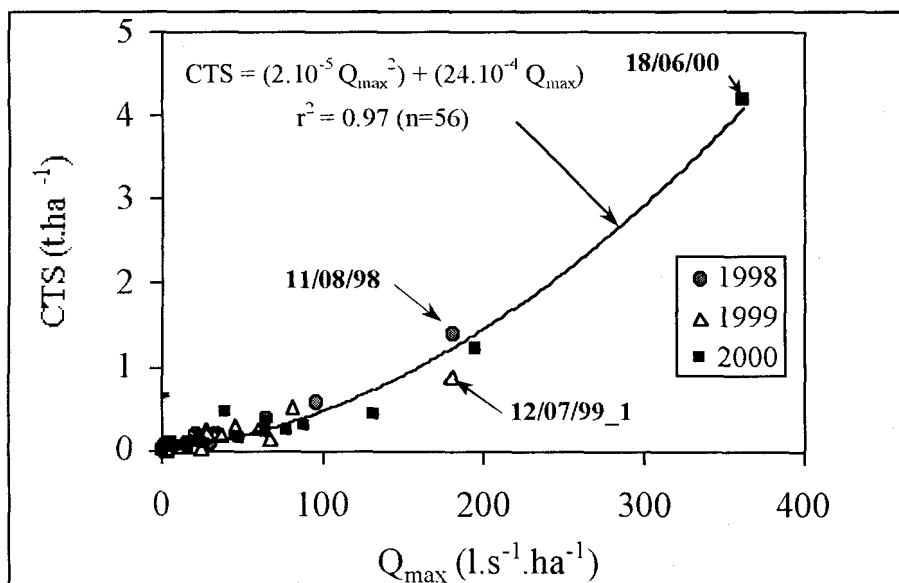


Figure 6 : Relation entre la charge totale solide (CTS) exportée et le débit spécifique de pointe (Q_{max}) pour tous les événements analysés en 1998, 1999 et 2000 sur le bassin de Katchari.

Année	Matières en suspension	Charriage de fond kg.ha ⁻¹	Charge totale solide
1998	6346	489	6835
1999	3798	210	4008
2000	8322	126	8448

Tableau 1 : Exportations solides annuelles sur le petit bassin versant de Katchari.

Zélande. Ces auteurs ont appliqué un modèle de régression linéaire en échelle logarithmique sur les données de sédiments et de débits de pointe.

Dans notre cas, nous trouvons une relation de type polynomiale du second degré en utilisant directement les données mesurées. Droux (1999) a établi des relations de même type sur les bassins de Dounfing (17.5 km²), Djitiko (103 km²) et Belekoni (120 km²) en zone soudanienne du Mali.

L'équation établie sur le site de Katchari avec les trois années de données est :

$$CTS = 2.10^{-5} * Q_{max}^2 + 24.10^{-4} * Q_{max}$$

avec Q_{max} le débit spécifique de pointe en l/s/ha et CTS la charge totale solide (MES+charriage de fond) en t/ha.

Le coefficient de détermination de la relation établie est très satisfaisant ($r^2 = 0.97$) et la dispersion pour une même valeur de débit maximum reste faible (Figure 6). On peut remarquer que la seule crue du 18/06/00 ($Q_{max} = 362$ l/s/ha) représente un poids élevé dans la relation puisque aucun autre débit spécifique de pointe n'a été enregistré

au-delà de 200 l/s/ha. Même si on élimine cette crue, la relation reste encore satisfaisante avec un coefficient r^2 de 0.87. Cette crue est d'autant plus importante qu'elle permet un bon apprentissage (c'est-à-dire qu'elle diminue le degré de liberté) du modèle de régression surtout pour les grosses crues.

Nous avons ainsi pu déterminer les exportations annuelles de matières solides qui s'élèvent à 6.8 t/ha en 1998, 4 t/ha en 1999 et 8.4 t/ha en 2000 (Tableau 1). L'érosion en 1999 reste faible par rapport aux deux autres années. Elle serait comparable à l'érosion en 2000 s'il n'y avait pas eu la pluie du 18/06/00.

En 1998, la crue du 11/08/98 (Pluie = 42 mm et $Q_{max} = 181$ l/s/ha) représente à elle seule 21% des transports solides annuels. En 1999, la crue du 12/07/99_1 (Pluie = 53 mm et $Q_{max} = 180$ l/s/ha) constitue 22% des exportations solides, et en 2000, la seule crue du 18/06/00 (Pluie = 85 mm et $Q_{max} = 362$ l/s/ha) transporte près de 50% de la charge solide. Ainsi, sur l'ensemble des trois années de mesure, 20 à 32% des crues sont responsables de 80% des transports solides.

Le charriage de fond reste très faible comparé aux matières en suspension sur les trois années. Il représente respectivement 7%, 5%, et 1.5% de la charge totale solide en 1998, 1999 et 2000. L'essentiel du transport solide se fait donc sous forme de matières en suspension.

Comparaison avec d'autres données du milieu sahélien

Il est intéressant de restituer nos résultats d'érosion dans le contexte régional sahélien en les comparant à ceux de quelques travaux réalisés dans ce milieu.

Les résultats préliminaires d'une étude menée en parallèle sur le même site de Katchari (Delhoume *et al.*, 1998) indiquent des quantités de terres érodées pour une année de mesure, de 8 t/ha et 15 t/ha sur deux micro-bassins (respectivement 920 m² et 360 m²) composés à 33% de croûtes d'érosion (ERO) et à 67% de croûtes de dessiccation (DES). Quant aux travaux de Thiombiano (2000) sur le même site de Katchari également, ils rapportent des pertes en terre variant entre 24 et 37 t/ha sur des parcelles Wischmeier situées sur croûtes ERO et entre 6 et 10 t/ha pour des micro-bassins versants de 450 m² et 950 m² sur croûtes DES.

La petite taille des micro-bassins et des parcelles semble expliquer cette différence entre les résultats de ces deux études et ceux trouvés sur le petit bassin versant de Katchari (1.4. ha) qui varient entre 4.0 et 8.4 t/ha. En effet, les processus de sédimentation qui affectent en priorité les fractions

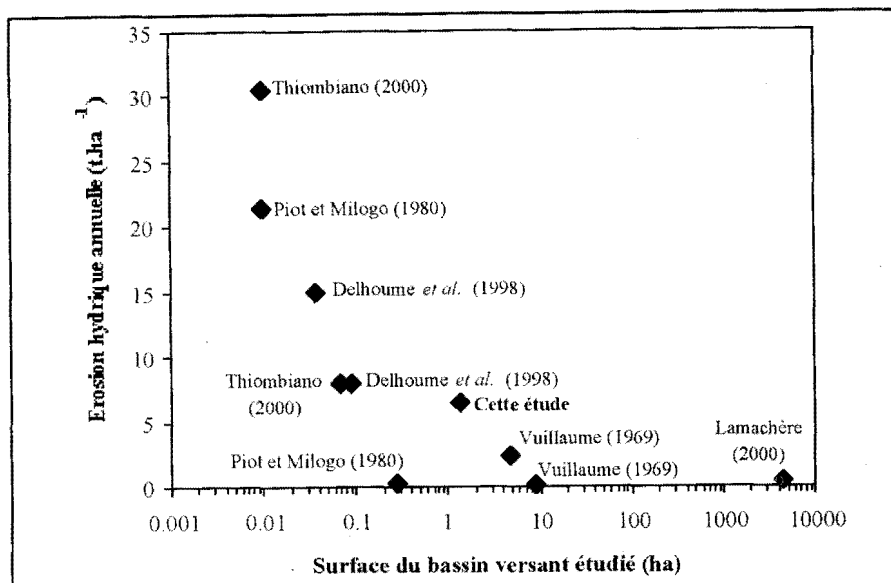


Figure 7 : Relation entre la charge totale solide (CTS) exportée et le débit spécifique de pointe (Qmax) pour tous les événements analysés en 1998, 1999 et 2000 sur le bassin de Katchari.

granulométriques grossières sur le bassin versant sont moindres à plus petite échelle.

Lamachère (2000) fournit trois années de données d'érosion, allant de 0.21 à 0.66 t/ha sur un petit bassin versant (44 km²) sahélien dans la région de Bidi au Burkina Faso. Les résultats sur ce bassin qui présente une mosaïque d'unités paysagères (végétation dense et dégradée, sols cultivés, en jachère et nus) restent faibles par rapport à ceux trouvés sur le bassin versant de Katchari, même si la comparaison n'est pas toujours évidente vu les différents usages de sols d'une étude à l'autre. Cet auteur précise néanmoins que le charriage de fond sur ce bassin est négligeable du fait des faibles pentes et de la stabilité des berges du marigot. Ces observations corroborent ceux obtenus sur le bassin de Katchari et montrent que cet aspect de l'érosion (faiblesse du charriage de fond) est une caractéristique des bassins sahéliens.

Une étude similaire à la nôtre a été menée également par Piot et Millogo (1980) au pied du massif de Koel sur le bassin versant de la mare d'Oursi en zone sahélienne du Burkina Faso. Les résultats de trois années de mesure (1977-1979) sur des placages sableux d'origine éolienne, montrent des pertes en terre allant de 0.2 t/ha pour une parcelle mise en défens intégralement (0.28 ha) à 21.4 t/ha pour une parcelle de Wischmeier (100 m²) avec des pentes d'environ 5%. Les auteurs soulignent qu'un seul événement peut représenter jusqu'à 79% du bilan annuel des exportations solides. Cette dernière observation qui consolide celle faite sur le bassin de Katchari permet de mettre en exergue une fois de plus l'importance des forts événements averse-crues dans les processus d'érosion en milieu sahélien. Quant aux différences entre les chiffres de transports solides, il faut y voir les différences d'échelles spatiales et l'utilisation du milieu.

Les travaux de Vuillaume (1969) sur le bassin représentatif de Kountkouzout dans la zone sahélienne du Niger, donnent des pertes en terre variant de 0.2 t/ha pour un bassin de 9.1 ha entièrement cultivé à 2.3 t/ha pour un bassin de 4.7 ha très peu cultivé. Ces résultats restent faibles par rapport à ceux trouvés sur le bassin de Katchari qui est de plus petite taille (1.4 ha) et qui n'est pas du tout cultivé. Il est évident que les systèmes de labour et les différents types de culture induisent des modifications dans la texture des sols et leur aptitude à l'érosion. Zougmore et al. (2000) ont montré par exemple sur le site expérimental de Saria au Burkina Faso, que la culture alternée de sorgho et de dolique réduisait les pertes en terre d'au moins de moitié comparative-ment à la monoculture de sorgho ou de dolique.

Lorsqu'on compare toutes ces données d'érosion, la principale remarque qui se dégage est l'importance de l'échelle d'étude, c'est-à-dire la taille du bassin versant considéré. Plus la surface est faible (parcelle de quelques centaines de m²) plus les taux d'érosion sont élevés (Figure 7). A cette échelle, les processus d'érosion sont plus intenses avec des temps de transfert très courts et l'absence des phénomènes de sédimentation. Par contre, à des échelles spatiales plus larges (quelques km²), si l'érosion est intense localement, les matériaux exportés à l'exutoire restent faibles du fait de la redistribution de ces matériaux à l'intérieur du bassin (Warren et al., 2001) à cause des propriétés morpho-

pédologiques favorables : faible pentes, tortuosité des axes d'écoulement, zones plates endoréiques, distribution spatiale des états de surface (Karambiri, 2003 ; Karambiri *et al.*, 2003).

CONCLUSION

Cette étude a permis, d'une part de fournir des données sur les écoulements et l'érosion hydrique des sols (sous forme solide) à l'échelle d'un petit bassin versant sahélien, contribuant ainsi à l'actualisation des données sur les processus de dégradation de ce milieu (Yacouba *et al.*, 2002). D'autre part, les résultats obtenus permettent de mettre en exergue le rôle déterminant des forts événements averses-crués dans la dynamique de dégradation du milieu naturel sahélien. Les résultats indiquent également une prédominance des matières en suspension (MES) par rapport au charriage de fond dans la charge totale solide exportée sur le bassin.

Ces résultats semblent être des traits caractéristiques du milieu sahélien et méritent d'être généralisés par des études similaires. La présente étude a porté sur des mesures de flux d'eau et de matières solides à l'exutoire du bassin versant, qui est un lieu d'intégration des processus élémentaires se produisant sur le bassin. Il serait intéressant de compléter cette étude par des études plus fines, à l'échelle de la parcelle d'un mètre carré (Yacouba *et al.*, 2002 ; Karambiri, 2003) afin de définir

les fonctions de production des surfaces élémentaires ■

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.

BIBLIOGRAPHIQUES

- Albergel J., 1987. Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso : du m₀ au km₀, étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 341 pp.
- Albergel J., Carbonnel J. P. et Grouzis M., 1984. Période climatique au Burkina Faso. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., XXI(1): 3-19.
- Albergel J., Casenave A., Ribstein P. et Valentin C., 1992. Aridité climatique, aridité édaphique: Etude des conditions de l'infiltrabilité en Afrique tropicale sèche. In: M. G. E. Le Floch, A. Cornet, J.-C. Bille (Ed.), L'aridité, une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés, Paris, pp. 124-130.
- Basher L. R., Hicks D. M., Handyside B. et Ross C. W., 1997. Erosion and sediment transport from the market gardening lands at Pukekohe, Auckland, New Zealand. Journal of Hydrology (NZ), 36(1): 73-95.
- Biaou A. C., Casenave A., Delhoume J. P., Gathelier R., Thiombiano L., Gineste P. et Ribolzi O., 1999. Erosion hydrique et transfert de solutés en milieu sahélien. Etude des processus à l'échelle d'un petit bassin versant au nord du Burkina Faso. Sud Sciences & Technologies, 4: 18-28.
- Boulet R., 1968. Carte pédologique de reconnaissance de la Rép. de Haute-Volta (Centre Nord), 1/500 000.
- Carbonnel J.-P. et Hubert P., 1992. Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Remise en cause de la stationnarité des séries. In: E. Le Floch, M. Grouzis, A. Cornet et J.-C. Bille (Eds.), L'aridité, une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés, Paris, pp. 37-51.
- Carbonnel J. P., Hubert P., Walbadet E., Mermoud A. et Bariac T., 1990. Variabilité spatiale des précipitations soudano-sahéliennes à l'échelle décimétrique. C. R. Acad. Sci. Paris, 311(II): 1425-1430.
- Casenave A., 1998. Dynamique des milieux de savane sèche au Burkina Faso : dégradation des systèmes écologiques et conséquences sur le cycle de l'eau. Rapport préliminaire : analyse de la pluviométrie. IRD, Ouagadougou, Burkina Faso, 49 pp.
- Casenave A. et Valentin C., 1989. Les états de surfaces de la zone sahélienne : Influence sur l'infiltration, Editions de l'ORSTOM, Collection Didactiques .

- Editions de l'ORSTOM, Paris, 229 pp.
- Chevallier P., Claude J., Pouyaud B. et Bernard A., 1985. Pluies et crues au Sahel : Hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina Faso) (1976-1981). E. ORSTOM (Ed.), collection Travaux et documents, 190. Edition ORSTOM, Paris, 251 pp.
- Claude J., Grouzis M. et Milleville P., 1991. Un espace sahélien. La mare d'Oursi, Burkina Faso. E. ORSTOM (Ed.), 241 pp.
- Collinet J. et Valentin C., 1979. Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle: Nouvelles perspectives-Applications agronomiques. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, XVII(4): 283-328.
- Delhoume J. P., Thiombiano L., Bakiono G., Gathier R. et Kabore O., 1998. Interrelation érosion hydrique / érosion éolienne en milieu sahélien : cas de la zone nord du Burkina Faso, 16ème Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier, France.
- Droux J. P., 1999. Hydrologie et flux de matières solides particulaires et dissoutes sur petits bassins versants du bassin du fleuve Niger au Mali. Thèse Doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg I, 251 pp.
- Fahey B. D. et Marden M., 2000. Sediment yields from a forested and pasture catchment, coastal Hawke's Bay North Island, New Zealand. *Journal of Hydrology (NZ)*, 39(1): 49-63.
- Ferguson R. I., 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 95-104.
- Grouzis M., 1988. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). E. ORSTOM (Ed.), Edition ORSTOM, collection Etudes et Thèses, Paris, 336 pp.
- Hicks D. M., 1990. Suspended sediment yields from pasture and exotic forest basins, N.Z. Hydrological Society Symposium, Nov. 1990, Taupo.
- Karambiri H., 2003. Crues et érosion hydrique au Sahel : Etude et modélisation des flux d'eau et de matières sur un petit bassin versant pastoral au nord du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, Paris (France), 341 pp.
- Karambiri H., Ribolzi O., Delhoume J. P., Ducloux J., Coudrain-Ribstein A. et Casenave A., 2003. Importance of soil surface characteristics on water erosion in a small grazed Sahelian catchment. *Hydrological Processes*, 17(8): 1495-1507.
- L'hôte Y., Mahé G., Somé B. et Triboulet J. P., 2002. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. *Journal sciences Hydrologiques*, 47(4): 563-572.
- Lamachère J. M., 2000. Transports solides à l'exutoire d'un petit bassin versant sahélien (région de Bidi, Burkina Faso). *Bulletin du réseau Erosion 20*, IRD, Montpellier, pp. 112-126.
- Le Barbé L. et Lebel T., 1997. Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*, 188-189: 43-73.
- Levang P., 1978. Biomasse herbacée de formations sahéliennes. Etude méthodologique et application au bassin de la mare d'Oursi. A.C.C Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta), Ouagadougou (BF), 36 pp.
- Loughran R. J., 1976. The calculation of suspended-sediment transport from concentration v. discharge curves: Chandler river, N.S.W. *Catena*, 3: 45-61.
- Mahé G., Dray A., Paturel J. E., Cres A., Koné F., Manga M., Cres F. N., Djoukam J., Maïga A., Ouédraogo M., Conway D. et SERVAT E., 2002. Climatic and anthropogenic impacts on the flow regime of the Nakambe River in Burkina Faso. *IAHS Publ.*, 274: 69-75.
- Piot J. et Millogo E., 1980. Etude du ruissellement et de l'érosion, Mare d'Oursi. Synthèse de trois années 1977/78/79. CTFT, Ouagadougou, 16 pp.
- Rodier J.-A., 1984. Caractéristiques des crues des petits bassins versants représentatifs au Sahel. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. sér. Hydrol.*, XXI(2): 3-25.
- Roose E., 1986. Terrasses de diversion ou microbarrages perméables? Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest-africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, XXII(2): 197-208.
- Serpentié G., Tezenas Du Montcel L. et Valentin C., 1992. La dynamique des états de surface d'un territoire agropastoral soudano-sahélien, conséquences et propositions. In: ORSTOM (Ed.), *L'aridité, une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés*, pp. 419-447.
- Servat E., Paturel J. E. et Lubes H., 1996. La sécheresse gagne l'Afrique Tropicale. *La Recherche*, 290: 24-25.
- Sicot A. M., 1991. Exemple de dispersion spatiale des pluies au Sahel: la pluviosité du bassin de mare d'Oursi au Burkina Faso. *IAHS Publ.*, 199: 75-83.
- Thiombiano L., 2000. Etude de l'importance des facteurs édaphiques et pédopsaïques dans le développement de la désertification en zone sahélienne du Burkina Faso. Thèse pour obtenir le grade de Docteur d'Etat ès-Sciences Naturelles Mention: Pédologie Université de Cocody, Abidjan, R.C.I., 327 pp.
- Valentin C., 1994. Sécheresse et érosion au Sahel. *Sécheresse*, 3(5): 191-198.
- Vuillaume G., 1969. Analyse quantitative du rôle du milieu physico-climatique sur le ruissellement et l'érosion à l'issue de bassins de quelques hectares en zone sahélienne (Bassin de Kountkousout, Niger). *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie*, VI(4): 87-132.
- Walling D. E. et Webb B. W., 1976. The reliability of suspended sediment load data. *IAHS Publ.*, 133: 177-194.
- Warren A., Batterbury S. et Osbahr H., 2001. Soil erosion in the West African Sahel: a review and an application of a "local political ecology" approach in South West Niger. *Global Environmental Change*, 11: 79-95.
- Yacouba H., Da D. B. C., Yonkeu S., Zombré P. et Soulé M., 2002. Caractérisation du ruissellement et de l'érosion hydrique dans le bassin supérieur du Nakambé (Burkina Faso). *Environwater 2002*: 318-325.
- Zougmore R., Kambou F. N., Ouattara K. et Guillobez S., 2000. Sorghum-cowpea Intercropping: An Effective Technique Against Runoff and Soil Erosion in the Sahel (Saria, Burkina Faso). *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14: 329-342.