

## Régimes des flux des matières solides en suspension au Cameroun: revue et synthèse à l'échelle des principaux écosystèmes; diversité climatique et actions anthropiques

GASTON LIENOU<sup>1</sup>, GIL MAHE<sup>2</sup>, JEAN-CLAUDE OLIVRY<sup>2</sup>,  
EMMANUEL NAAH<sup>3</sup>, ERIC SERVAT<sup>2</sup>,  
LUC SIGHA-NKAMDJOU<sup>4</sup>, DANIEL SIGHOMNOU<sup>4</sup>,  
JULES NDAM NGOUPAYOU<sup>1</sup>,  
GEORGES EMMANUEL EKODECK<sup>1</sup>  
& JEAN EMMANUEL PATUREL<sup>2</sup>

1 Université de Yaoundé I, c/o IRD BP 1857 Yaoundé, Cameroun  
[liengast@yahoo.fr](mailto:liengast@yahoo.fr)

2 IRD, UMR HydroSciences, BP 64501, F-34394 Montpellier Cedex 5, France

3 UNESCO, United Nations Offices, Block C, United Nations Avenue, Girigi, Nairobi, Kenya

4 Centre de Recherches Hydrologiques, BP 4110 Yaoundé, Cameroun

**Résumé** Des mesures des matières en suspension dans les fleuves et rivières du Cameroun sont réalisées depuis la fin de la décennie 1950. Ces mesures, bien que souvent ponctuelles, constituent un support privilégié pour une approche globale des régimes des transports solides en suspension dans les différentes rivières. On tente d'appréhender l'intensité du transport solide en suspension dans les rivières et d'en déterminer les principaux facteurs conditionnels à l'échelle des principales unités climatiques. L'influence de l'activité humaine est mise en évidence. Il ressort des analyses que les fortes pentes, la densité de la population, le travail du sol et l'élevage en sont les facteurs primordiaux. La charge solide des rivières croît avec la latitude, de 20–40 g m<sup>-3</sup> en zone équatoriale, à 80–100 g m<sup>-3</sup> dans les zones de transition et à 150–160 g m<sup>-3</sup> en zone tropicale sèche. Le choix de la taille du bassin versant pour la caractérisation du taux d'érosion effectif est indispensable. En effet, à l'échelle des grands bassins (5 × 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>), il y a une intégration des caractéristiques géomorphologiques, phytogéographiques, pédologiques et anthropiques hétérogènes en caractéristiques moyennes, qui ne rendent plus compte des influences locales des milieux sur le transport solide.

**Mots clefs** action anthropique; analyse spatiale; Cameroun; érosion; transport solide

### Regimes of suspended sediment flux in Cameroon: review and synthesis for the main ecosystems; climatic diversity and anthropogenic activities

**Abstract** Since the end of the 1950s, suspended matter measurements have been carried out in the streams and rivers of Cameroon. Despite the fact that these are often point measurements, they provide a framework for a global approach towards studying the regimes of suspended sediment transport in these rivers. The objective here is to assess the intensity of sediment transport and to determine the principal factors which influence it, according to the main climatic units. The influence of human activities is pointed out. It appears that steep slopes, population density, soil cultivation and cattle grazing are the essential factors. The sediment load in these rivers is increasing with latitude with 20–40 g m<sup>-3</sup> at the Equator, 80–100 g m<sup>-3</sup> in the transition zones and 150–160 g m<sup>-3</sup> in the dry tropical zones. The choice of drainage basin size for the characterisation of the rate of effective erosion is indispensable. In fact, in large drainage basins (5 × 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>), there is an integration of heterogeneous geomorphological, phytogeographical, pedological and anthropogenic characteristics into average characteristics which do not show the influence of local conditions on sediment transport.

**Key words** anthropogenic action; spatial analysis; Cameroon; erosion; sediment transport

## INTRODUCTION

Les premières mesures de transport solide au Cameroun ont été réalisées dans la partie nord en 1955/56. Dans les années 1960, quelques campagnes de mesures sont effectuées dans les bassins versants de la Sanaga, du Mbam et du Mayo Tsanaga, suivant une méthodologie mise au point par l'Orstom (Nouvelot, 1972a). Les résultats ont fait l'objet de plusieurs publications (Nouvelot, 1969; 1972a,b; Olivry *et al.*, 1974; Olivry, 1976, 1977). Les mesures ultérieures ont été réalisées à l'occasion des projets d'aménagement tels que le barrage hydroélectrique sur le Ntem (Boum *et al.*, 1983), le projet grand Yaéré (Naah, 1990), la retenue d'eau de Lom-Pangar sur le Lom (Sigha-Nkamdjou *et al.*, 1998). D'autres travaux ont été effectués notamment en zone méridionale dans le cadre des programmes régionaux tels que PEGI et DYLAT (Sigha-Nkamdjou, 1994; Ndam Ngoupayou, 1997).

Cette étude fait le point sur l'ensemble des travaux réalisés à ce jour sur le sujet au Cameroun. Les analyses spatiales réalisées par Nouvelot (1972b) et Olivry (1976, 1977) n'ont pas pu tenir compte des travaux récents, notamment dans la partie méridionale. Aussi, était-il nécessaire, plus de 30 années après, de présenter et de compléter ces précédentes synthèses relatives aux régimes des transports solides en suspension dans les fleuves et rivières du Cameroun. Par une approche globale, cette étude tente d'appréhender l'importance du phénomène et d'en déterminer les principaux facteurs conditionnels à l'échelle des principales unités climatiques du pays.

## MILIEU NATUREL

Situé en Afrique Centrale, le Cameroun couvre une superficie de 475 000 km<sup>2</sup>, entre 2 et 13°N. Le pays est partagé en deux grands ensembles climatiques: le climat équatorial à quatre saisons dans la partie sud et le climat tropical à deux saisons au nord. Le relief accidenté du pays et son exposition aux flux de mousson atlantique, associe aux deux principaux climats des nuances maritimes et montagnardes (Fig. 1). Le couvert végétal se différencie du sud au nord, de la forêt dense humide à la steppe à épineux, en passant par les savanes. Le schéma de la phytogéographie du Cameroun décrite par Letouzey (1985) est de nos jours profondément modifié du fait de la pression anthropique. Les formations primaires longtemps soumises aux défrichements et feux ont disparu de manière quasi-irréversible, remplacées par des couverts forestiers secondaires. Dans des régions à cultures intensives, un nouveau paysage végétal s'est mis en place, fait de plantations d'arbres fruitiers ou de haies vives qui protègent de vastes plantations de cultures saisonnières. La population, estimée à 15 millions d'habitants en l'an 2000, est très inégalement répartie sur le territoire, la densité variant de moins de huit habitants par km<sup>2</sup> à plus de 200 habitants par km<sup>2</sup>.

L'orographie est dominée par la grande barrière de l'Adamaoua, constituée d'une succession de plateaux et de reliefs importants. Dans la partie australe, se rencontrent de nombreuses petites collines séparées par des rivières à débit régulier. Au nord, la vallée de la Bénoué et la cuvette tchadienne constituent les basses terres du pays.

Les sols ferrallitiques rouges couvrent le plateau sud camerounais. Sur le massif de l'Adamaoua, on trouve des sols minéraux bruts sur blocs de cuirasses anciens. Sur les

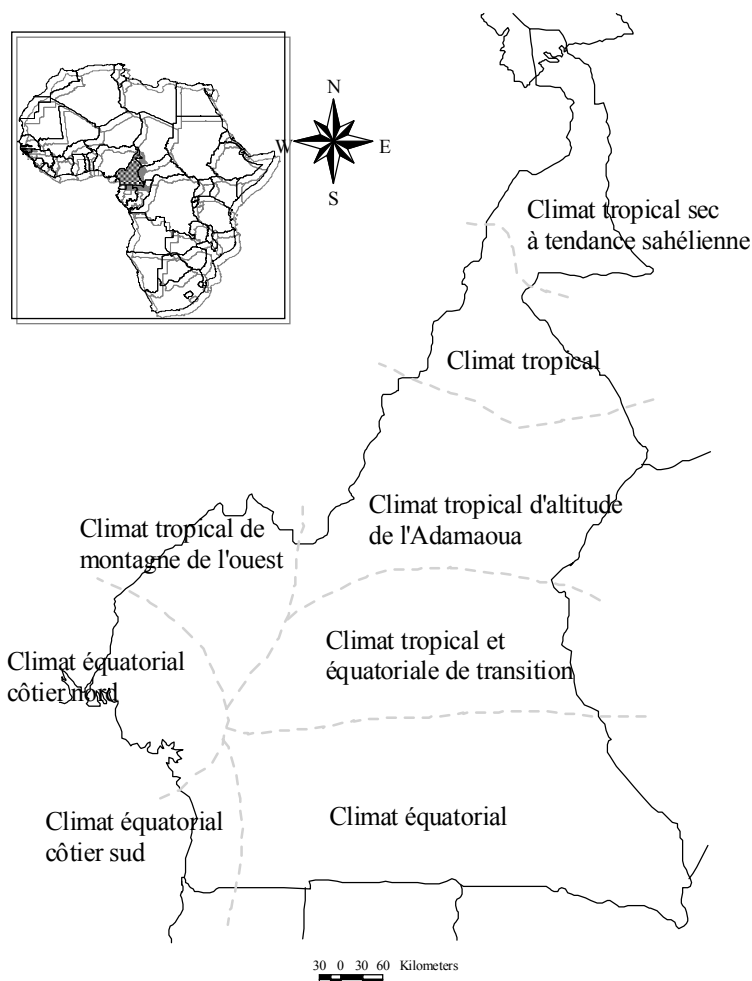


Fig. 1 Les facettes climatiques du Cameroun (dans Olivry, 1986).

dépôts sédimentaires du nord se développent les sols ferrugineux tropicaux et les lithosols, présentant parfois, dans la plaine du Logone, un pourcentage d'argile très élevé.

## DES REGIMES CLIMATIQUES DIVERSIFIES

Les oscillations de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT), déterminent sur le territoire camerounais deux principales zones de climat: le climat équatorial au sud et le climat tropical au nord. Au sud on observe un climat équatorial à deux saisons des pluies centrées en moyenne en mai et en octobre, mais il n'y a pas de mois sans pluies. Près de la côte (région de Kribi), on retrouve le régime bi-modal des précipitations, toutefois, l'abondance des pluies annuelles permet de définir une variante côtière. Les hauteurs des précipitations annuelles diminuent vers le plateau sud-camerounais.

Dans la partie occidentale, au nord du 5ème parallèle, le seul passage de la ZCIT au cours de l'année entraîne une seule saison des pluies centrée sur le mois d'août. La durée de cette unique saison des pluies diminue de huit mois sur le plateau central de l'Adamaoua à quatre mois dans l'extrême nord.

Dans la partie sud-ouest du pays, l'exposition au flux de mousson et l'effet orographique des montagnes définissent un type de climat particulier, caractérisé par un régime pluviométrique uni-modal centré sur le mois d'août, mais surtout par l'abondance des précipitations. Sur le versant sud-ouest du mont Cameroun, le gradient spatial des précipitations est d'environ 70 mm par km entre Tiko (3000 mm) et Debundscha (10 000 mm).

## TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION

### Données

Une grande quantité de données issues des travaux sur les matières solides en suspension au Cameroun a été rassemblée. Pour certaines stations, les mesures se sont limitées à quelques prélèvements ponctuels. Les principales stations (Fig. 2) ont fait toutefois l'objet d'un suivi régulier au cours de périodes d'observations plus ou moins longues. La fréquence des mesures varie du pas de temps journalier au pas de temps mensuel, et plusieurs jaugeages ont permis d'établir une corrélation entre les concentrations des échantillons prélevés et les concentrations moyennes du cours d'eau. Les

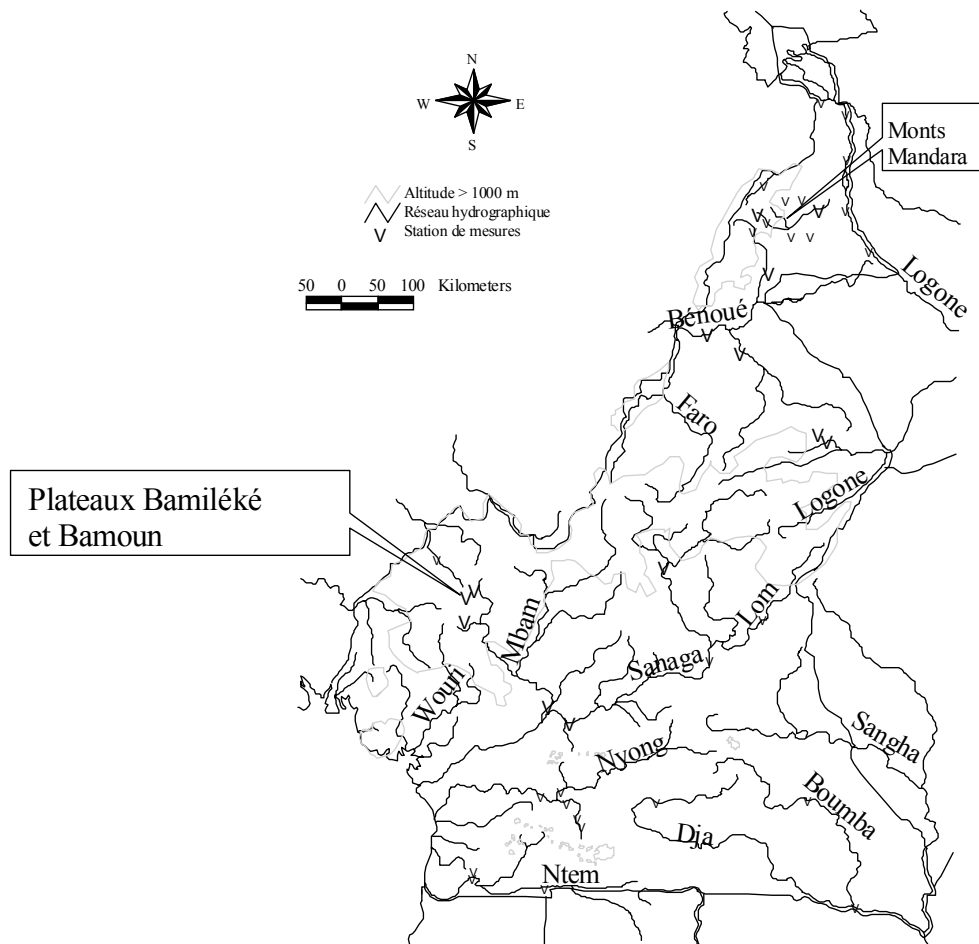


Fig. 2 Stations de mesures des matières solides en suspension.

bassins étudiés sont assez bien répartis dans les différentes facettes du climat camerounais à l'exception des deux variantes du climat côtier, auxquelles les études en cours permettent d'étendre le réseau de mesures.

### Variations spatiales

La charge d'un cours d'eau résulte de l'érosion des matériaux sur les versants, par les précipitations et le ruissellement notamment. Plusieurs travaux d'agronomes et de pédologues ont montré que l'intensité de l'érosion sur parcelles et bassins élémentaires dépend des états de surface et en particulier du couvert végétal. Plusieurs incertitudes subsistent sur le passage entre l'érosion sur les versants et le transport solide que nous étudions. Il semble aussi que l'amenuisement du couvert végétal ait une influence prédominante sur la charge solide des cours d'eau à l'échelle des grands écosystèmes camerounais. La Fig. 3 présente la relation entre les latitudes et les concentrations des matières en suspension. L'équation est de la forme:

$$Y = a \times X + b \quad (1)$$

avec  $Y$  la concentration et  $X$  la latitude. Les paramètres  $a$  et  $b$  prennent les valeurs respectives de 17 et 21.

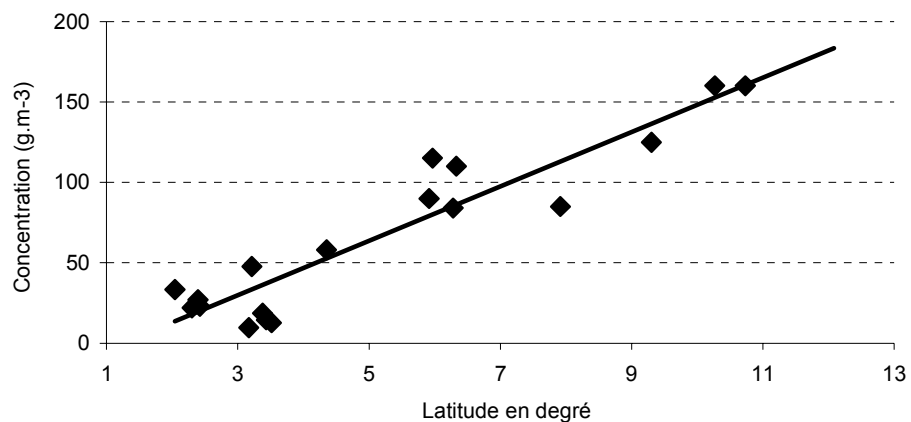
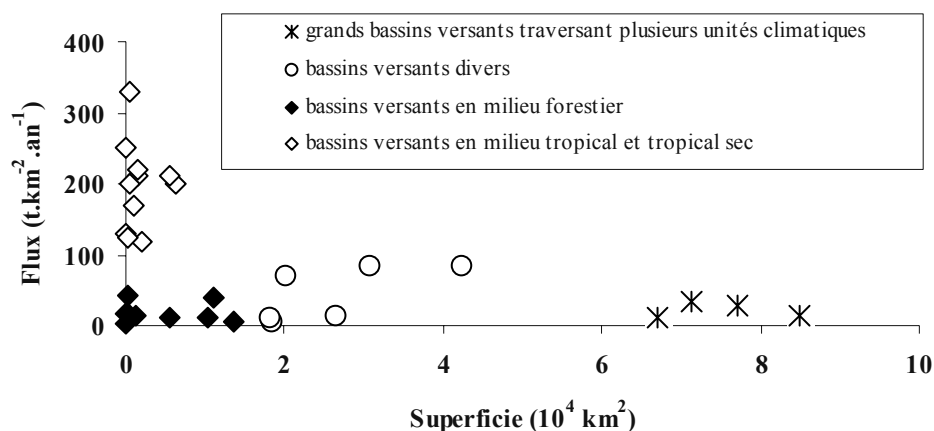


Fig. 3 Augmentation de la charge solide des cours d'eau vers le nord.

On remarque qu'au gradient de végétation se superpose du sud au nord un gradient inverse de concentration. Elle est comprise entre 20 et 40 g m<sup>-3</sup> en milieu forestier, et passe à des valeurs de 80 à 100 g m<sup>-3</sup> en zones de transition. Des valeurs beaucoup plus élevées (150–160 g m<sup>-3</sup>) sont obtenues en zone tropicale sèche.

La répartition des flux des matières en suspension qui caractérisent l'intensité de l'érosion est beaucoup plus complexe. L'allure générale semble indiquer une diminution des flux spécifiques à mesure que la taille des bassins augmente (Fig. 4). Une analyse plus poussée montre que les bassins de petite à moyenne taille (jusqu'à 20 000 km<sup>2</sup>) forment deux pôles de regroupement, les bassins forestiers présentant généralement les flux spécifiques les plus faibles. Les pentes des bassins versants auraient aussi une incidence non négligeable. Ainsi, l'érosion dans les zones non influencées par les activités humaines paraît conditionnée par un ensemble de facteurs



**Fig. 4** Flux des matières en suspension en fonction de la taille des bassins et des unités climatiques.

**Tableau 1** Estimation de l'importance relative des matières en suspension dans quelques cours d'eau camerounais.

Bassin	Superficie (km <sup>2</sup> )	Période de mesures	Milieu climatique	Erosion (t km <sup>-2</sup> an <sup>-1</sup> )	Références
Sanaga à Nachtigal	77 000	1967–1968	Tropical de transition	28	(1)
Nyong à Mbalmayo	13 555	1994–1996	Équatorial	5.2	(2)
Mengong Nsimi	0.58	1994–1996	Équatorial	2.9	(2)
Ntem à Ngoazik	18 100	1981–1983	Équatorial	10.6	(3)
Ngoko à Mouloundou	67 075	1989–1992	Équatorial	11.5	(4)
Mbam à Goura	42 300	1970–1974	Tropical de transition	85	(5)
Mifi-sud à Bamougoum	306	Estimation	Tropical de montagne	2000	(6)
Logone à Kousséri	85 000	1970–1974	Tropical sec	15	(7)
Mayo Tsanaga à Bogo	1535	1973	Tropical sec	210	(8)
Mayo Boula à Dargala	1517	1985–1986	Tropical sec	221	(9)

**Note:** Les valeurs des débits et des flux de matières en suspension sont mesurées au cours de l'année d'étude ou des moyennes sur des périodes continues.

(1) Nouvelot, 1969; (2) Ndam Ngoupayou, 1997; (3) Boum *et al.*, 1983; (4) Sigha-Nkamdjou, 1994; (5) Olivry *et al.*, 1974; (6) Olivry, 1976; (7) Gac, 1980; (8) Olivry *et al.*, 1974; (9) Naah, 1990.

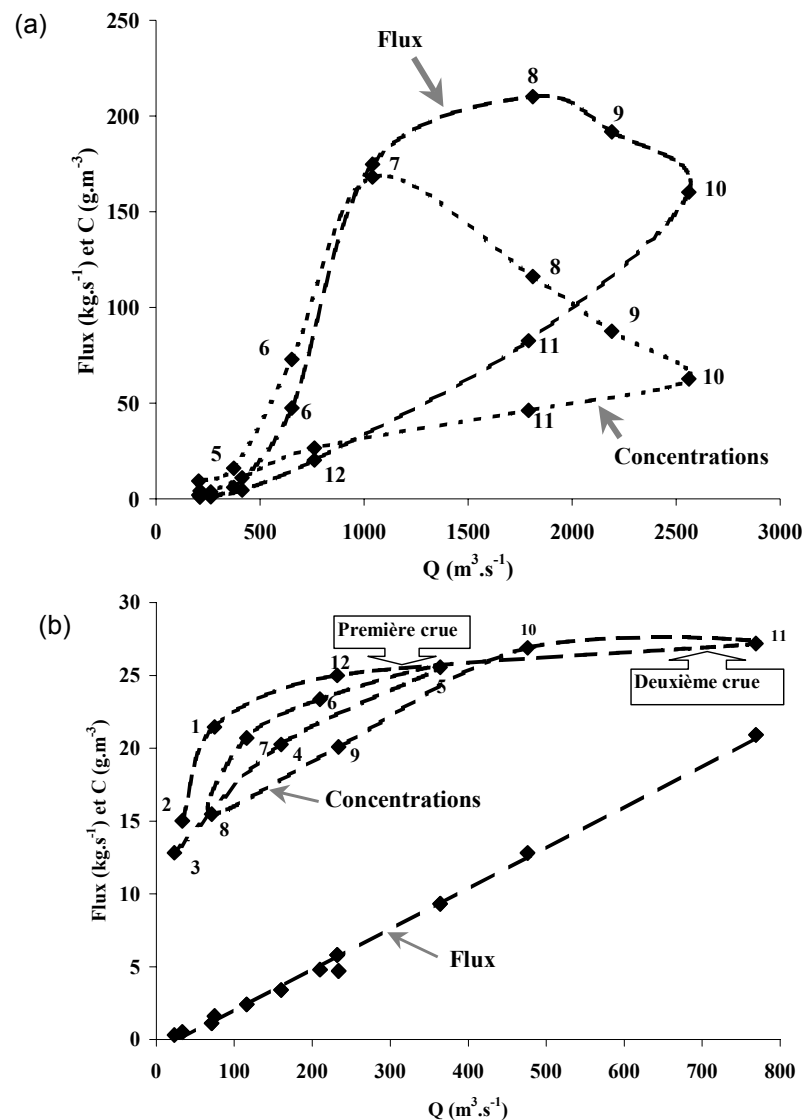
qui impliquent aussi bien les paramètres climatiques que les caractéristiques physiques des bassins versants. Ces facteurs peuvent intervenir simultanément ou se succéder dans le temps et dans l'espace. Dans des bassins de très grande taille (60 000 km<sup>2</sup>), qu'ils soient en milieu équatorial ou tropical, il y aurait une intégration des caractéristiques géomorphologiques, phytogéographiques, pédologiques et anthropiques hétérogènes en caractéristiques moyennes, qui ne rendent plus compte des influences locales des milieux sur le transport solide. La taille du bassin versant devient dès lors un paramètre à considérer dans les analyses comparatives des bilans de flux de matières. Le Tableau 1 présente quelques valeurs de flux spécifiques (quantités évacuées annuellement rapportées au km<sup>2</sup>) mesurés dans des cours d'eau camerounais.

Ces valeurs ne sont qu'indicatives, les travaux sur bassins versants représentatifs ou à l'échelle des parcelles ayant indiqué des taux d'érosion beaucoup plus importants sur les versants. Thébé (1987) trouve 525 t km<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup> sur un bassin de 18 km<sup>2</sup> à l'extrême-nord; les études pédologiques (Bep *et al.*, 1996) estiment sur des parcelles

de  $100 \text{ m}^2$ , des transports supérieurs à  $4000 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ . Mais les sédiments produits sont piégés dans le paysage tant et si bien qu'une infime partie seulement parvient à l'exutoire du grand bassin. Diallo (2000) a estimé à 7% la proportion des sédiments qui est transférée jusqu'à l'exutoire d'un bassin de  $103 \text{ km}^2$  dans le haut Niger.

### Variations saisonnières

A l'échelle saisonnière, les variations des concentrations et des flux de matières pour des bassins respectivement tropical (Sanaga) et équatorial (Ntem) sont présentées dans la Fig. 5(a) et (b). On retrouve le schéma d'évolution classique des concentrations en zone tropicale (Nouvelot, 1972b; Olivry, 1977; Briquet *et al.*, 1997). Les capacités



**Fig. 5** Evolution comparée au cours du cycle hydrologique de la concentration et du flux de matières en suspension en fonction du débit: (a) bassin versant tropical (Sanaga à Nachtigal), et (b) bassin équatorial (Ntem à Ngoazik). Les nombres 1 à 12 représentent les mois de l'année (janvier à décembre).

d'érosion des bassins augment au début de la crue annuelle, beaucoup plus forts pour les bassins tropicaux, traduisant une mobilisation des sols nus pulvérulents non encore couverts. Olivry *et al.* (1974) montrent que cette charge solide des premières crues est encore plus élevée quand la saison sèche a été plus longue et plus rigoureuse. Par la suite, le développement de la strate herbacée protège le sol contre les agressions érosives des pluies et du ruissellement. Les deux cycles correspondant aux deux crues sont bien identifiables en zone équatoriale. A la différence des bassins tropicaux qui enregistrent les concentrations maximales trois mois avant la pointe de la crue, les deux pointes (concentrations et débits) sont synchrones dans les bassins équatoriaux. Les concentrations baissent par la suite progressivement pour atteindre les valeurs minimales en saison sèche, qui ne représentent plus que l'érosion des berges à laquelle peuvent s'ajouter les dépôts éoliens dans la partie septentrionale du pays.

La relation entre les flux de matières en suspension et les débits qui les véhiculent ne sont pas les mêmes dans les deux régimes climatiques. En milieu tropical (Fig. 5(a)) les variations saisonnières de flux sont similaires à celles des concentrations. Mais pendant la saison des pluies, pendant que les concentrations baissent rapidement par dilution des matières en suspension, les flux continuent à augmenter pour atteindre un palier, avant de décroître aussi rapidement en fin de saison avec les débits. Pour le bassin versant équatorial (Fig. 5(b)), une distinction peut être établie entre les relations concentrations-débits et flux-débits. Alors que les concentrations varient de manière cyclique au cours des crues, une relation linéaire étroite s'établit entre les flux et les débits qui les véhiculent. Aux débits ( $Q$ ) plus élevés correspondent des valeurs de flux ( $Flux$ ) plus élevées, suivant l'équation:

$$Flux = 0.028Q - 0.84 \quad (2)$$

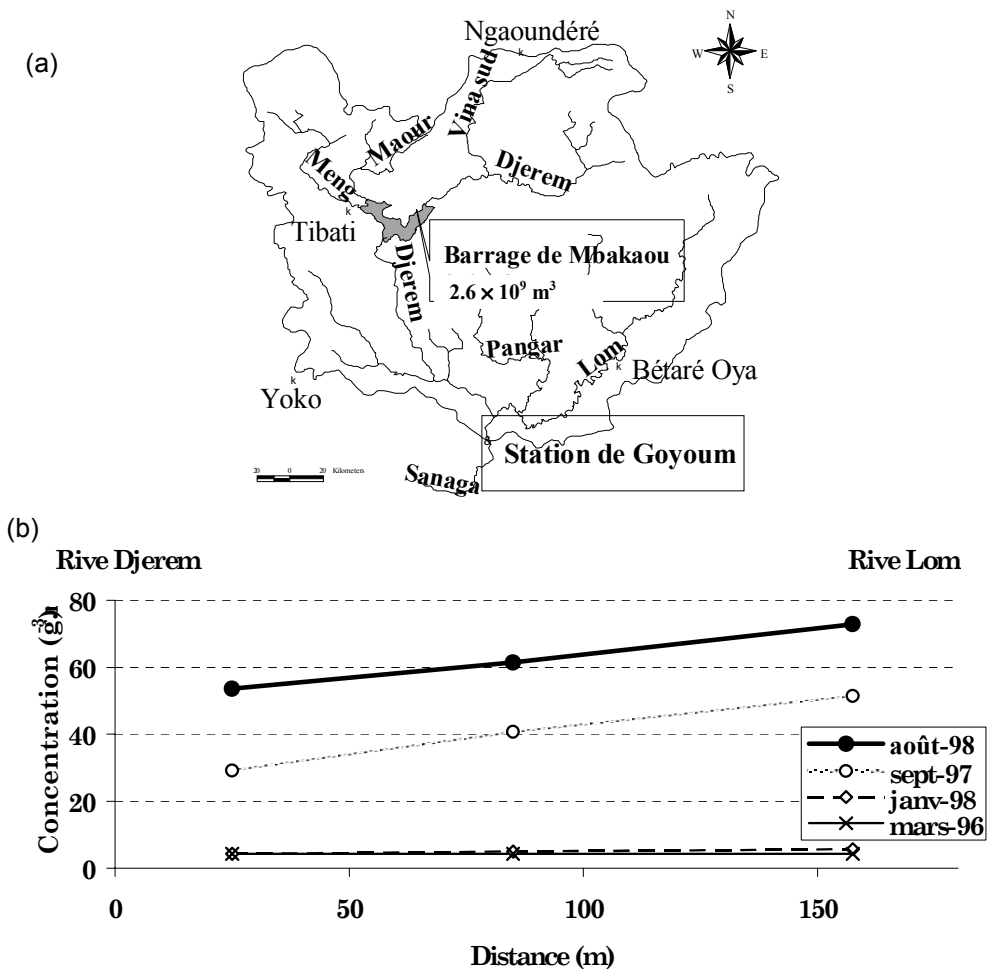
avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0.99$ , où  $Flux$  est en  $kg\ s^{-1}$  et  $Q$  est en  $m^3\ s^{-1}$ .

### Actions anthropiques

Deux régions se distinguent par les valeurs élevées de flux de matières transportées par les rivières (Fig. 2). Il s'agit des monts Mandara, avec plus de  $200\ t\ km^{-2}\ an^{-1}$  en moyenne (Nouvelot, 1969; Olivry *et al.*, 1974; Naah, 1990) et des plateaux Bamiléké et Bamoun, avec plus de  $2000\ t\ km^{-2}\ an^{-1}$  (Olivry, 1976). Ces régions marquent de ce fait des nuances locales dans la distribution latitudinale des flux des matières en suspension. On constate, en analysant leurs caractéristiques (Tableau 2), qu'elles présentent d'assez grandes similitudes. Les principaux traits communs sont leur relief accidenté, la pression démographique élevée et des pratiques culturales intensives. Une réflexion menée par Olivry (1976) dans le but de comprendre le contraste entre l'érosion sur le Mbam et la Sanaga, bassins en milieu tropical et aux régimes hydrologiques semblables, a abouti à la conclusion selon laquelle les matières en suspension sur le Mbam sont déterminées par la région montagneuse volcanique des pays Bamiléké et Bamoun, où Guiscafre (1959) a obtenu, pour la même période, des valeurs très contrastées de  $12000\ t\ km^{-2}$  sur parcelle nue avec billons dans l'axe de la pente contre  $20\ t\ km^{-2}$  sur savane. Ces résultats bien que localisés montrent le rôle que peuvent jouer les zones cultivées mais aussi et surtout les pratiques culturales sur les pertes de terres.

**Tableau 2** Caractéristiques des plateaux Bamiléké et Bamoun et des monts Mandara.

	Pays Bamiléké et Bamoun	Monts Mandara
Pluviométrie annuelle	2000–3000 mm	700–1000 mm
Régime climatique	Tropical de montagnes	Soudanien d'altitude
Sous-sol	Formations précambriennes (migmatites) et volcaniques (basaltes et syénites)	Massifs et inselbergs granitiques, roches détritiques meubles
Sols	Sols ferrallitiques et sols noirs d'origine volcanique	Sols minéraux bruts et sols peu évolués sur alluvions
Végétation	Formations d'origine anthropique (haies vives et cultures)	Steppe à épineux et cultures de graminées
Pentes	Assez fortes	Fortes pentes en amont des bassins versants
Coefficient d'écoulement	32%	20%
Écoulement spécifique	17.1 l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>	6 l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>
Densité de population	100–200 habitants km <sup>-2</sup> (parfois plus)	100–200 habitants km <sup>-2</sup>
Activités humaines	Agriculture intense toute l'année	Agriculture intense pendant la saison des pluies et élevage intensif

**Fig. 6** Bassin supérieur de la Sanaga: (a) situation du barrage de Mbakaou, et (b) répartition des concentrations en matières en suspension à la station de Goyoum.

Les matières érodées sur les versants ne sont pas toujours transportées par les cours d'eau jusqu'au milieu marin. De nombreuses rivières traversent de vastes marécages nés des conditions topographiques particulières, où les vitesses lentes induisent la décantation d'une grande partie des matières en suspension. Au-delà de ces cas de rétentions dues aux conditions naturelles, les aménagements d'origine anthropique, de gestion des ressources en eau, peuvent influencer la charge en suspension des rivières. Cet impact est mis en évidence à la station de Goyoum située en aval de la confluence du Djerem et du Lom, formant le bassin supérieur de la Sanaga (Fig. 6).

On constate pendant les hautes eaux des faibles concentrations sur la rive alimentée par le Djerem ( $30\text{--}52\text{ g m}^{-3}$ ), par rapport à celles de la rive alimentée par le Lom ( $52\text{--}73\text{ g m}^{-3}$ ). Or les régimes hydrologiques de ces deux rivières sont identiques. Les bassins versants sont soumis au même climat tropical de transition. La végétation, la couverture géologique et le relief sont tout à fait comparables. Les faibles concentrations en rive droite ne paraissent donc dues qu'à la rétention dans le barrage de Mbakaou d'une partie des matières en suspension. Cette incidence du barrage apparaît encore nettement entre les flux de matières mesurés à la station de Nachtigal, plus en aval, avant le barrage,  $28\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  (Nouvelot, 1969) et après le barrage,  $18\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  (Ndam Ngoupayou, 1997). En plus de l'effet de comblement, qui a des impacts sur leur durée de vie, la rétention des matières en suspension par les aménagements hydrauliques a des conséquences socio-économiques et environnementales graves du fait qu'il s'agit principalement des particules fines, nutriments essentiels pour la productivité des zones de cultures situées en aval des aménagements (Liéno *et al.*, 2003).

### Comparaisons avec les bassins fluviaux d'Afrique tropicale

Entre les décennies 1970 et 1990, des mesures des matières en suspension ont été également faites dans certains cours d'eau en Afrique Centrale et Occidentale (Fig. 7). Les résultats présentés, concernant les fleuves et rivières du Cameroun, gagneraient à être comparés à ceux relatifs à des zones morphoclimatiques comparables.

Les travaux réalisés sur le fleuve Congo, notamment sur la rive droite, donnent des flux de matières en suspension compris entre  $8\text{ et }10\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  (Laraque & Olivry, 1996; Olivry *et al.*, 1988). Les chiffres compris entre  $2\text{ et }7\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  sont également indiqués pour les affluents de la rive droite du Congo, de 1988 à 1990 (Moukolo *et al.*, 1993). Ces valeurs sont assez proches des valeurs comprises entre  $5\text{ et }14\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  obtenues en zone équatoriale camerounaise (Boum *et al.* 1983; Sigha-Nkamdjou, 1994; Ndam Ngoupayou, 1997).

En revanche, pour la zone tropicale (humide et sèche), caractérisée par le développement de la savane, les résultats sont différents. Les valeurs de  $5.8\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$ ,  $10.3\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$ ,  $39\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  et  $7.3\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  indiquées respectivement par Olivry *et al.* (1988) pour l'Oubangui à Bangui, Orange (1992) pour le Sénégal à Bakel, Gac (1980) pour le Logone à Laï, et Briquet *et al.* (1997) pour le Bani à Douna (Tableau 3), sont beaucoup plus faibles que les résultats obtenus au Cameroun, dans des zones climatiques comparables:  $70\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  pour le Djerem à Mbakaou (Nouvelot, 1969),  $85\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  pour la Bénoué à Lagdo (Nouvelot, 1969), plus de  $100\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  pour le Noun supérieur (Nouvelot *et al.*, 1971),  $210\text{ t km}^{-2}\text{ an}^{-1}$  pour le Mayo Tsanaga (Olivry *et al.*, 1974).



**Fig. 7** Quelques stations de mesures des matières en suspension en Afrique Centrale et Occidentale entre 1970 et 1995; les observations de périodes relativement courtes ne sont pas synchrones (voir Tableau 3).

**Tableau 3** Quelques valeurs de flux de matières en suspension sur quelques bassins fluviaux d'Afrique tropicale.

Bassin versants	Stations	Superficies ( $\times 10^3 \text{ km}^2$ )	Cycles hydrologiques	Débit ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	Flux solide ( $\text{t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ )	Références
Sénégal	Sénégal à Bakel	218	1979–1987	308	10.3	(1), (7)
	Sénégal à Dagana	270	1981–1983	374	10.6	(2)
Gambie	Gambie à Gouloumbou	42	1983–1984	60	2.1	(3)
	Gambie à Kedougou	7.5	1987	59	7.9	(1)
Niger	Niger à Banankoro		1991–1994		6.2	(4)
	Niger à Koulikoro	120	1991–1994		5.2	(4)
	Bani à Douna		1991–1994		3.7	(4)
	Niger à Bamako	117	1990–1992	735	4.9	(5)
	Milo Kankan	9.6	1987	133	21.3	(6)
Lac Tchad	Ouham à Batangafo	44.7	1969–1970	326	9.3	(7)
	Logone à Laï	56.7	1969–1975	418	39.0	(8)
	Logone à Bongor	71.1	1969–1976	448	34.0	(8)
Congo	Oubangui à Bangui	500	1987	2840	5.8	(9)
	Lefini à Mbouambé	13.5	1987–1991	410,2	9.4	(10)
	Alima à Tchikapika	20.07	1987–1991	590	6.0	(10)
	Congo à Brazzaville	3500	1987–1991	8200	8.7	(10)

**Note:** Les valeurs des débits et des flux de matières en suspension sont celles mesurées au cours de l'année d'étude ou les moyennes sur des périodes continues.

(1) Kattan *et al.*, 1987; (2) Gac & Kane, 1986; (3) Lô, 1984; (4) Briquet *et al.*, 1997; (5) Boeglin & Probst, 1996; (6) Orange, 1992; (7) Gac & Pinta, 1973; (8) Gac, 1980; (9) Olivry *et al.*, 1988; (10) Moukolo *et al.*, 1993.

Plusieurs auteurs ont essayé d'estimer des flux de matières en suspension exportés annuellement dans d'autres régions de l'Afrique. Nous ferons référence à quelques travaux cités notamment par Walling (1984): au Nigéria voisin, les affluents de Sokoto

Rima transportent par an entre 155 et 438 t km<sup>-2</sup>, alors que des chiffres compris entre 219 et 739 t km<sup>-2</sup> sont envisageables dans le bassin versant de Hadejiia-jamaare (Oyebande, 1981); Virgo & Munro (1978) proposent 1680 t km<sup>-2</sup> pour un bassin éthiopien de 150 km<sup>2</sup>; et Temple & Sundbord (1972) quant à eux trouvent pour un bassin versant tanzanien de 156 000 km<sup>2</sup> une valeur de 109 t km<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup>.

## CONCLUSION

Fort de sa multitude de facettes climatiques due à l'extension latitudinale du territoire, son exposition au flux de mousson océanique et son relief accidenté, le Cameroun constitue un terrain intéressant pour une analyse spatialisée de l'érosion et des transports en suspension en fonction des régimes climatiques. Un ensemble de données collectées depuis les années 1960 a permis de définir quelques caractéristiques des régimes des transports solides en suspension dans les différentes rivières et de dégager certains facteurs conditionnels primordiaux.

A l'échelle des bassins versants de petite à moyenne taille (jusqu'à 20 000 km<sup>2</sup>), en milieu naturel, l'évolution du couvert végétal et la morphologie des bassins sont les facteurs déterminants des régimes des transports solides en suspension, la nature des sols ne jouant qu'un rôle secondaire. En milieu anthropisé, les activités humaines (mise en culture intensive des sols) tendent soit à augmenter la charge des rivières soit à la diminuer (rétention dans des aménagements hydrauliques). La taille des bassins étudiés est un facteur important à considérer dans les analyses comparatives des flux de matières. Pour les grands bassins (60 000 km<sup>2</sup>), il semble y avoir une intégration spatiale des caractéristiques hétérogènes en caractéristiques moyennes, qui ne rendent plus compte des influences locales des milieux sur le transport solide.

**Remerciements** Les auteurs remercient le Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) de Yaoundé et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) pour leur soutien financier. Ce travail a aussi été réalisé dans l'esprit de la synthèse régionale des connaissances initiée dans le cadre de FRIEND-AOC.

## REFERENCES

- Bep, B., Zahonero, P., Boli, Z. & Roose, E. (1996) Evolution des états de surface et influence sur le ruissellement et l'érosion des sols ferrugineux tropicaux sableux du Nord Cameroun soumis à diverses techniques culturales. *Bull. Réseau Erosion* **16**, 59–77.
- Boeglin, J. L. & Probst, J. L. (1996) Transports fluviaux des matières dissoutes et particulaires sur un bassin versant en région tropicale: le bassin amont du Niger au cours de la période 1990–1993. *Sci. Géol. Bull.* **49**(1–4), 25–45.
- Boum, J. P., Sigha-Nkamdjou, L. & Nwalal, J. (1983) Etudes hydrologiques du Ntem aux chutes de Merve'ele. Rapport de synthèse, campagnes 1980/1983 DGRST/IRGM, Yaoundé.
- Briquet, J. P., Mahé, G., Bamba, F., Marra, M., Mahieux, A., Des Tureaux, T., Orange, D., Picouet, C. & Olivry, J. C. (1997) Erosion et transport particulaire par le Niger: du bassin supérieur à l'exutoire du delta intérieur (bilan de cinq années d'observation). In: *FRIEND '97—Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management* (ed. by A. Gustard, S. Blazkova, M. Brilly, S. Demuth, J. Dixon, H. van Lanen, C. Llasat, S. Mkhandi & E. Servat), 335–346. IAHS Publ. 246, IAHS Press, Wallingford, UK.
- Diallo, D. (2000) Erosion des sols en zone soudanienne du Mali: transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger). Université Joseph Fourier; IRD, Grenoble I, France.
- Gac, J. Y. (1980) Géochimie du bassin du lac Tchad. Travaux et documents de l'Orstom 123, Paris.
- Gac, J. Y. & Kane, A. (1986) Le fleuve Sénégal. I: bilan hydrologique et flux continentaux des matières particulaires à l'embouchure. *Sci. Géol. Bull.* **39**(1), 99–130.

- Gac, J. Y. & Pinta, M. (1973) Bilan de l'érosion et de l'altération en climat tropical humide. Estimation de la vitesse d'approfondissement des profils. Etude du bassin versant de Ouham (République Centrafricaine). *Cah. Orstom Sér. Géol.* **5**(1), 83–96.
- Guiscafre, J. (1959) Résultats sommaires sur l'érosion des terres noires au pays Bamiléké. *Rapport Orstom*, Yaoundé.
- Kattan, Z., Gac, J. Y. & Probst, J. L. (1987) Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin—estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion. *J. Hydrol.* **92**, 59–76.
- Laraque, A. & Olivry J. C. (1995) Evolution de l'hydrologie du Congo-Zaïre et de ses affluents rive droite et dynamique des transports solides et dissous. In: *L'hydrologie tropicale: géoscience et outil pour le développement*. (ed. by P. Chevallier & B. Pouyau), 271–288. IAHS Publ. 238, IAHS Press, Wallingford, UK.
- Letouzey, R. (1985) Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1/500 000. Inst. Carte Internationale Végétation, Toulouse & Inst. Rech. Agro., Yaoundé.
- Liéno, G., Sighomnou, D., Sigha-Nkamdjou, L., Mahé, G., Ekodeck, G. E. & Tchoua, F. (2003) Système hydrologique du Yaéré (Extrême-Nord Cameroun), changements climatiques et actions anthropiques: conséquences sur le bilan des transferts superficiels. In: *Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions* (ed. by E. Servat, W. Najem, C. Leduc & A. Shakeel), 403–409. IAHS Publ. 278, IAHS Press, Wallingford, UK.
- Lô, H. M. (1984) Le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou. Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviales en milieu tropical humide africain. Thèse 3ème cycle, Université de Nancy II, France.
- Moukolo, N., Laraque, A., Olivry, J. C. & Briquet, J. P. (1993) Transport en solution et en suspension par le fleuve Congo (Zaïre) et ses principaux affluents de la rive droite. *Hydrol. Sci. J.* **38**(2) 133–145.
- Naah, E. (1990) Hydrologie du grand Yaéré du nord-Cameroun. Thèse de doctorat ès-Sciences, Université de Yaoundé.
- Ndam Ngoupayou, J. R. (1997) Bilans hydrogéochimiques sous forêt tropicale humide en Afrique: du bassin expérimental de Nsimi-Zoétéélé aux réseaux hydrographiques du Nyong et de la Sanaga au Sud-Cameroun. Thèse doctorat Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, France.
- Nouvelot, J. F. (1969) Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun. *Rapport Orstom*, Yaoundé.
- Nouvelot, J. F. (1972a) Méthodologie pour la mesure en réseau des transports solides en suspension dans les cours d'eau intertropicaux peu chargés. *Cah. Orstom, Sér. Hydrol.* **9**(1), 3–18.
- Nouvelot, J. F. (1972b) Le régime des transports solides en suspension dans divers cours d'eau du Cameroun de 1961 à 1971. *Cah. Orstom Sér. Hydrol.* **9**(1), 47–74.
- Nouvelot, J. F., Cadier, E. & Olivry, J. C. (1971) Hydrologie du bassin supérieur du Noun. *Rapport Orstom*, Yaoundé.
- Olivry, J. C. (1976) Transports solides en suspension au Cameroun. ONAREST, Yaoundé.
- Olivry, J. C. (1977) Transports solides et en suspension au Cameroun. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters*, 134–141. IAHS Publ. 122, IAHS Press, Wallingford, UK.
- Olivry, J. C. (1986) *Fleuves et Rivières du Cameroun*. Collection Monographie Hydrologique 9, ed. Mesres-Orstom, Paris.
- Olivry, J. C., Briquet, J. P., Thiebaut, J. P. & Sigha Nkamdjou, L. (1988) Transport de matière sur les grands fleuves de la région intertropicale: les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo. In: *Sediments Budgets* (ed. by M. P. Bordas & D. E. Walling), 509–521. IAHS Publ. 174, IAHS Press, Wallingford, UK.
- Olivry, J. C., Hoorelbecke, R. & Andiga, J. (1974) Quelques mesures complémentaires de transports solides en suspension au Cameroun. *Rapport Orstom*, Yaoundé.
- Orange, D. (1992) Hydroclimatologie du Fouta Djallon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'Ouest). *Sci. Géol., Mém.* **93**.
- Sigha-Nkamdjou, L. (1994) Fonctionnement hydrochimique d'un écosystème forestier de l'Afrique Centrale: La Ngoko à Moloundou (sud-est du Cameroun). Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud (Orsay), France. *Travaux et Documents Microfichés* (111), ed. Orstom.
- Sigha-Nkamdjou L., Sighomnou, D., Nia, P., Nwalal, J., Bedimo Bedomo, J. P., Nlozoa, J., Liéno, G. & Braun, J. J. (1998) Qualité de l'eau à certains sites du Lom, du Pangar et de la Sanaga. Projet Lom-Pangar, Convention MINREST/IRGM/CRH-SONEL, *Rapport de IRGM*, Yaoundé.
- Thébé, B. (1987) Hydrodynamique de quelques sols du Nord-Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des facteurs d'échelle. Thèse d'université. Unité des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France.
- Walling, D. E. (1984) The sediment yields of Africa. In: *Challenges in African Hydrology and Water Resources* (ed. by D. E. Walling, S. S. D. Foster & P. Wurzel), 265–283. IAHS Publ. 144, IAHS Press, Wallingford, UK.

Reçu le 6 avril 2004; accepté le 21 septembre 2004