

Impact des modifications climatiques et anthropiques sur les flux de matières de quelques bassins fluviaux du Cameroun

**L. SIGHA-NKAMDJOU¹, D. SIGHOMNOU¹, G. LIENOU²,
J. R. NDAM², M. BELLO², R. KAMGANG², G.E. EKODECK²,
M. R. OUAFO³, G. MAHE⁴, J. E. PATUREL⁴ & E. SERVAT⁴**

¹ *Centre de Recherches Hydrologiques de l'IRGM, BP 4110 Yaoundé, Cameroun*
lucsigha@yahoo.fr; luc.sigha-nkamdjou@ird.fr

² *Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun*

³ *Université de Dschang, Dschang, Cameroun*

⁴ *UMR Hydrosociences, IRD Montpellier, France*

Résumé En s'appuyant sur les résultats des travaux antérieurs, l'étude montre, à partir des résultats obtenus sur quelques bassins versants représentatifs des principaux écosystèmes du Cameroun, l'impact de la variation climatique récente et celui des activités anthropiques sur les régimes de flux des Matières En Suspension (MES). A l'échelle spatiale, la dégradation spécifique augmente de la zone forestière du sud (5 à 10 t km⁻² an⁻¹) vers la savane du nord (180 t km⁻² an⁻¹). A l'échelle temporelle, sur le bassin du Mayo Tsanaga (zone de savane), la dégradation spécifique décroît de 214 t km⁻² an⁻¹ en 1968–1969 à 180 t km⁻² an⁻¹ en 2003. Ces résultats indiquent une diminution du taux d'érosion liée probablement à la baisse des précipitations et aux techniques de lutte contre l'érosion. L'étude met également en évidence le rôle protecteur de la végétation contre l'érosion mécanique et montre que la baisse des MES, imputable à celle des précipitations est moins perceptible du fait de l'action anthropique qui porte sur la dégradation ou la protection du milieu.

Mots clefs bassin fluvial; Cameroun; dégradation et protection des sols; érosion; flux de matières

Climatic and human impacts on sediment fluxes of river basins in Cameroon with contrasting land cover

Suspended solids loads have been studied in six Cameroon rivers (basin areas of 1535–18 100 km²), having contrasting land cover ranging from wet tropical forest to savannah. Their specific solid transport ranges from 5 to 10 t km⁻² year⁻¹ for the wet forest to 180 t km⁻² year⁻¹ for the savannah, despite the markedly lower annual runoff from the savannah, 3.4 l s⁻¹ km⁻², cf. 68 l s⁻¹ km⁻² from the forest. In the savannah basin, a decrease of specific transport was also noted between 1968–1969 (214 t km⁻² year⁻¹) and 2003 (180 t km⁻² year⁻¹), and attributed to lower precipitation and anti-erosion techniques. Our study shows the importance of the protective land cover against erosion and the sensitivity of savannah basins to anthropogenic impacts.

Key words river basin; Cameroon; soil degradation; erosion; suspended solids

INTRODUCTION

Pays de l'Afrique Centrale, le Cameroun est compris entre les latitudes 02° et 13°N et les longitudes 08° et 16°E. D'une superficie de 475 000 km² et de forme triangulaire,

son territoire s'étire de l'équateur au lac Tchad sur 1200 km et longe l'océan Atlantique sur 400 km. De par sa situation, le Cameroun est soumis à deux grands ensembles climatiques—le climat tropical humide dans sa partie méridionale (domaine de la forêt dense) et le climat soudano-sahélien dans sa partie septentrionale (domaine de la savane)—séparés par une zone de savane arbustive où sévit le climat tropical de transition. Si les régimes des écoulements de ce pays dont les premières mesures remontent aux années 1945 sont assez bien connus, ceux des matériaux transportés par ces cours d'eau ne le sont que partiellement, bien que les premières mesures de débits solides aient été effectuées à partir de 1955. Ceci s'explique par le fait qu'en dehors de quelques travaux de recherche menés en coopération (Olivry, 1977; Sigha-Nkamdjou *et al.*, 1997; Ndam Ngoupayou, 1997), la plupart des études sur le sujet ont été souvent réalisées à l'occasion des projets d'aménagement en convention avec des sociétés, sans souci de suivis réguliers dans le temps et dans l'espace. C'est dans l'optique de palier à cette lacune que le Centre de Recherches Hydrologiques (CRH) du Cameroun et l'UMR HydroSciences de l'IRD Montpellier, avec le support financier de la Coopération Française et de l'UNESCO ont entrepris des études des transferts de matières dissoutes et particulières sur six bassins versants représentatifs des principaux écosystèmes du Cameroun (forêt, savane, contact forêt/savane, environnement côtier et de montagne).

Outre les mesures des débits liquide et solide, ce projet s'appuie sur les résultats des travaux antérieurs pour appréhender l'impact des modifications climatiques de ces trois dernières décennies et des activités humaines sur la dégradation de l'environnement, notamment sur l'érosion des sols. Après la description du milieu naturel et de la méthodologie utilisée, nous analyserons les résultats des campagnes de mesure 2002/2003 en regard de ceux d'autres études avant d'en dégager les effets liés à la variabilité du climat et l'action de l'homme.

Cadre general de l'étude

Le territoire camerounais est réparti en un ensemble de paysages très diversifiés, avec un relief s'étagant du niveau de l'Océan Atlantique jusqu'à 3000 m auquel se rajoute le massif volcanique isolé du mont Cameroun à 4100 m d'altitude. La conjugaison de son allongement sur 1200 km et cette proximité de la mer ainsi que l'orographie lui confèrent une large diversité climatique représentative d'une bonne part du continent africain. La géologie est constituée à 90% des formations cristallines (les formations sédimentaires de couverture ne couvrant que 45 000 km²) dont l'altération donne principalement des sols ferrallitiques. La végétation présente une zonalité calquée sur celle du climat, avec la forêt dense humide au sud (climat équatorial), la savane arbustive au centre (climat tropical de transition), la savane et la steppe au nord (climat tropical pur), l'ensemble parsemé des prairies et forêts sur les montagnes. Les précipitations montrent des contrastes considérables. Elles varient de 10 000 mm à Debundsha au pied du mont Cameroun à 400 mm à Kousséri au bord du lac Tchad, en passant par 4000 mm à Douala et 1600 mm à Yaoundé.

Les cours d'eau du Cameroun se répartissent en plusieurs unités hydrographiques. Les uns se jettent directement dans l'Atlantique; les autres participent à trois des cinq plus grands ensembles hydrographiques de l'Afrique (le bassin du fleuve Niger, le bassin du fleuve Congo ou Zaïre, le bassin du lac Tchad). Dans l'optique d'une

meilleure représentativité des résultats de cette étude sur l'ensemble du territoire camerounais, nous avons sélectionné six bassins hydrographiques (Fig. 1). Leurs principales caractéristiques sont données dans le Tableau 1.

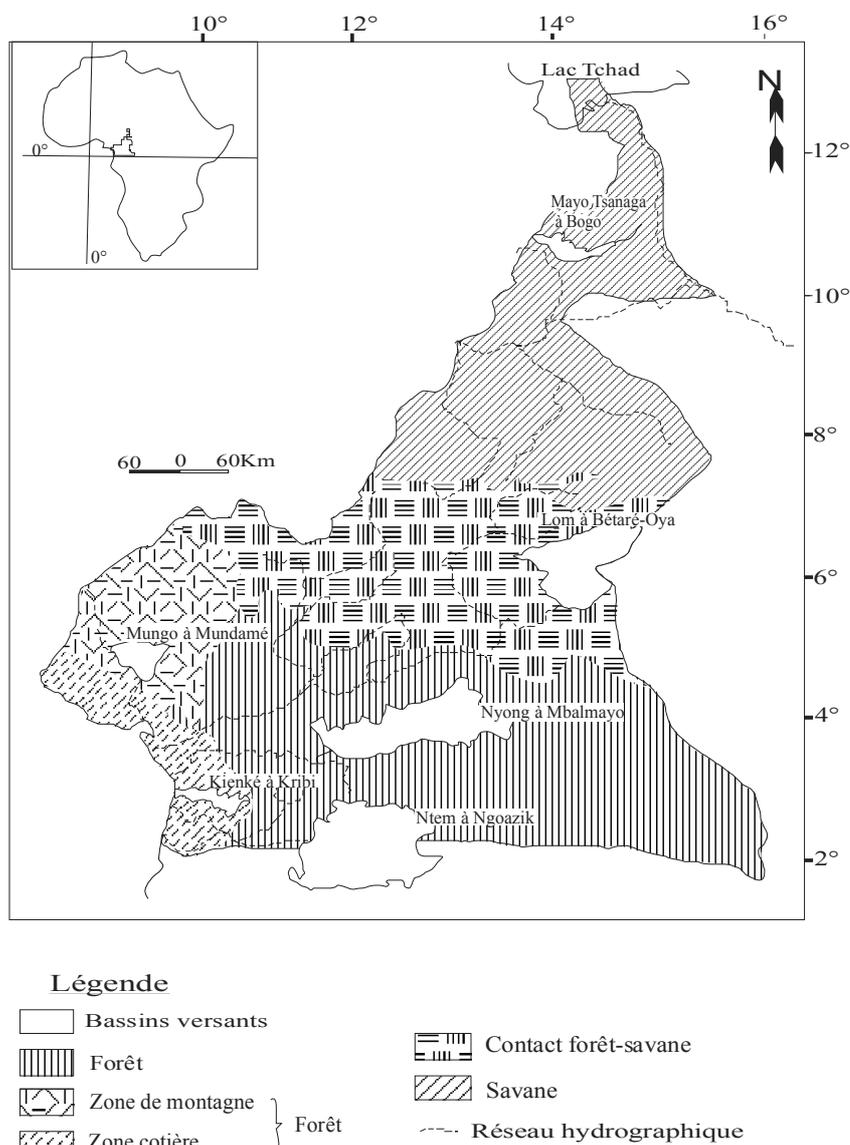


Fig. 1 Localisation des bassins versants.

Tableau 1 Principales caractéristiques des bassins versants.

Bassin	Station	Latitude Nord	Longitude Est	Superficie (km ²)	Pluie (mm)	Densité du couvert végétal (%)
Ntem	Ngoazik	02°18'	11°18'	18100	1640	90
Kienké	Kribi	02°56'	09°54'	1435	2850	75
Nyong	Mbalmayo	03°31'	11°30'	13555	1700	90
Mungo	Mundamé	04°34'	09°32'	2420	3200	60
Lom	Bétaré-Oya	05°55'	14°00'	11100	1650	50
Mayo/Tsanaga	Bogo	10°44'	14°36'	1535	850	5

Méthodologie de mesures

Au Cameroun, jusqu'à une date récente (1997), l'échantillonnage des eaux fluviales pour l'étude de l'aspect qualitatif s'est fait à l'aide de la pompe Japy (Nouvelot, 1969; Olivry, 1977; Boum *et al.*, 1983; Sigha-Nkamdjou, 1994; Sigha-Nkamdjou *et al.*, 1997). Plus récemment, d'autres études ont été entreprises sur le bassin supérieur de la Sanaga en amont de Goyoum, en utilisant la bouteille océanographique Neskin pour les prélèvements (Sigha-Nkamdjou *et al.*, 1998). Parmi les différentes méthodes d'échantillonnage disponibles, nous avons retenu cette dernière dans le cadre de la présente étude. Elle repose sur les jaugeages complets (mesure des débits liquide et solide). Sans s'attarder sur le jaugeage liquide, on peut néanmoins signaler qu'il s'agit des mesures de débit suivant la méthode classique par exploration du champ de vitesses du courant à l'aide d'un moulinet.

Le jaugeage solide, réalisé deux à quatre fois par an suivant les régimes du cours d'eau, consiste en l'échantillonnage des eaux en trois points (surface, milieu, fond) sur cinq verticales régulièrement réparties sur la section en travers à l'aide d'une bouteille océanographique en PVC de capacité 1.5 litre appelée *Neskin Sampling*. Pour ce qui concerne le conditionnement des échantillons, les eaux sont conservées dans des flacons en polyéthylène d'un litre. Les matières en suspension (MES) sont déterminées par filtration des échantillons d'eau sur des filtres Whatman de porosité 0.45 μm (dont le poids à sec a été au préalable déterminé) à l'aide d'une rampe de filtration sous vide Millipore. Les filtres contenant les MES sont séchés à 105°C à l'étuve, puis pesés sur une balance de précision (0.1 mg) après passage au dessiccateur. La détermination des teneurs en MES se fait par différence de poids du filtre chargé et du filtre vierge ramenée au volume d'eau prélevé.

Afin de mieux suivre la variation saisonnière des matières transportées, un échantillon d'un litre d'eau est prélevé au milieu de la section en travers une fois par semaine en basses eaux et deux échantillons par semaine en hautes eaux. Ce protocole permet une meilleure intégration du flux sur toute l'année.

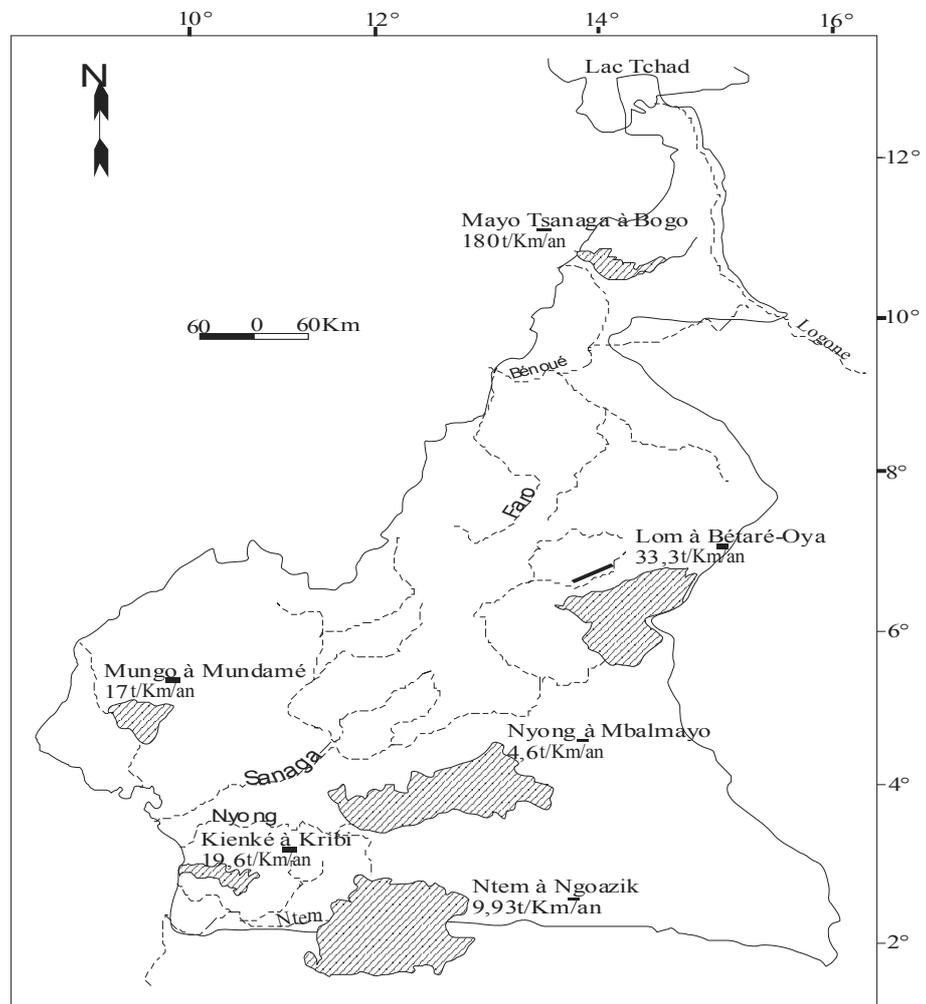
RESULTATS ET DISCUSSIONS

Variabilité spatiale du taux d'érosion

Les résultats des écoulements et du transport de matières en suspension pour la campagne 2002/2003 sont donnés dans le Tableau 2. Le taux d'érosion pour les différents écosystèmes est représenté sur la Fig. 2. Dans l'optique de mieux appréhender la variabilité spatiale de l'érosion, le transport spécifique particulière est analysé en fonction de la densité du couvert végétal (Fig. 3). Il se dégage de ces figures que le taux de l'érosion croît de la zone forestière au sud vers la savane au nord. En effet, il varie d'environ 10 t km⁻² an⁻¹ en milieu forestier (bassin du Ntem) à 180 t km⁻² an⁻¹ en savane (bassin du Mayo Tsanaga), en passant par 33 t km⁻² an⁻¹ en zone de savane arbustive (bassin du Lom). Ces résultats permettent de relever l'importance du rôle que joue la végétation sur la protection des sols contre l'agressivité des gouttes de pluie.

Tableau 2 Transports spécifiques sur les différents bassins étudiés.

Bassin	Station	Surface (km ²)	Q_s (l ⁻¹ s ⁻¹ km ⁻²)	T_{sp} (t km ⁻² an ⁻¹)	$Ep.sol$ (mm 1000 an ⁻¹)	Auteurs
Kienké	Kribi	1435	38.5	19.6	15.1	Tamonkem (2003)
Ntem	Ngoazik	18100	22.3	9.93	7.6	Ouafo Mendo (2004)
Nyong	Mbalmayo	13555	12.0	4.6	3.5	Kohoun (2004)
Mungo	Mundamé	2420	23	17	13.1	Mbousop (2003)
Lom	Bétaré	11100	15.9	33.3	25.6	Kamgang (2004)
Mayo Tsanaga	Bogo	1535	3.15	180	130	Bello (2004)

**Légende**

- Bassins versants
- Réseau hydrographique

Fig. 2 Variation spatiale du taux d'érosion.

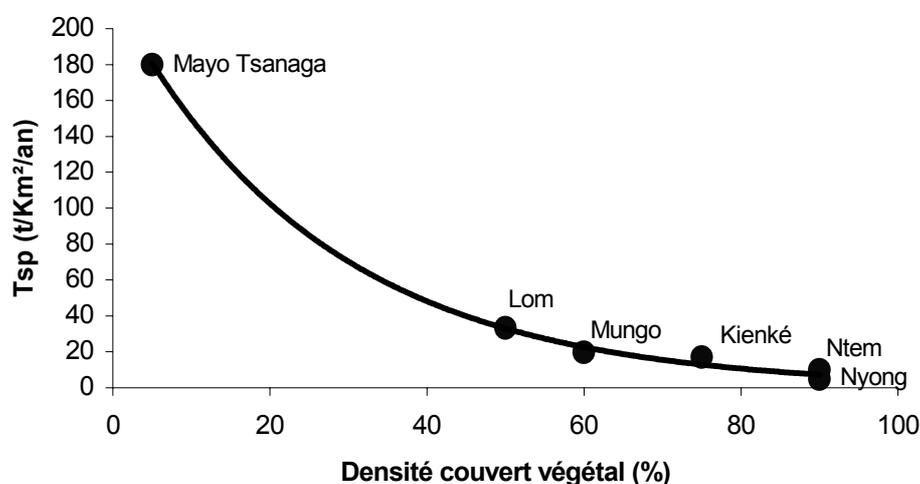


Fig. 3 Variation du transport spécifique de matières particulaires T_{sp} en fonction de la densité du couvert végétal en %.

Tableau 3 Transport des matières dans les différents écosystèmes.

Mayo Tsanaga à Bogo						
Année	1968	1969	1973	1985	1986	2002/2003
q ($l\ s^{-1}\ km^{-2}$)	4.63	5.80	3.45	3.60	3.88	3.15
T_{sp} ($t\ km^{-2}\ an^{-1}$)	214	214	177	209	183	180
Auteurs	Nouvelot (1969)	Olivry <i>et al.</i> (1974)	Olivry <i>et al.</i> (1974)	Naah (1990)	Naah (1990)	Cette étude
Nyong à Mbalmayo						
Année	1999/2000		2000/2001		2002/2003	
q ($l\ s^{-1}\ km^{-2}$)	13.7		11.2		12	
T_{sp} ($t\ km^{-2}\ an^{-1}$)	5.60		3.40		4.60	
Auteurs	Kohoun (2004)		Kohoun (2004)		Cette étude	
Ntem à Ngoazik						
Année	1981/1982		1982/1983		2002/2003	
q ($l\ s^{-1}\ km^{-2}$)	13.4		8.17		22.3	
T_{sp} ($t\ km^{-2}\ an^{-1}$)	10.9		9.77		9.93	
Auteurs	Sigha Nkamdjou (1994)		Sigha Nkamdjou (1994)		Cette étude	

Q : débit liquide spécifique; T_{sp} : transport spécifique particulaire.

Analyse des impacts climatiques et anthropiques

Afin d'analyser la variation temporelle et ses facteurs, on se limitera aux écosystèmes qui ont fait l'objet des études antérieures. Il s'agit principalement des bassins du Mayo tsanaga (savane), Nyong (forêt dégradée) et Ntem (forêt). Les résultats des différents travaux sont donnés dans le Tableau 3.

Sur le Mayo Tsanaga, les fortes valeurs du taux du transport solide ($214\ t\ km^{-2}\ an^{-1}$) ont été mesurées en 1968 et 1969 tandis que la plus faible ($177\ t\ km^{-2}\ an^{-1}$) l'a été en 1973. D'après Sigha-Nkamdjou *et al.* (2002), les années 1968 et 1969 sont humides et l'année 1973 sèche, on peut déduire que la baisse de la pluviométrie a eu une

incidence sur le transport solide. Sur les 6 années de mesures, en dépit de la pression démographique et de l'augmentation des espaces cultivés dans le bassin (MINPAT, 1992), on note une décroissance du transport spécifique particulaire. Outre la péjoration climatique de ces dernières décennies, cette diminution du taux d'érosion serait également imputable aux dispositifs anti-érosifs dans l'espace cultivé décrits par Picard (2000). Par ailleurs, à l'échelle saisonnière, Bello (2004) a relevé une relation entre l'état d'occupation du sol et le processus de l'érosion, celui-ci diminuant avec le développement de la végétation suite aux premières pluies dans le bassin.

Les résultats de transport de matières sur trois années de mesures (1999–2003) sur le Nyong à Mbalmayo sont assez proches (environ $5 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ chaque année). L'absence des travaux plus anciens ne laisse pas déceler l'impact des facteurs climatiques et anthropiques.

Par contre, sur le Ntem à Ngoazik qui a fait l'objet de mesures dans les années 1980, on note malgré les modifications climatiques récentes et l'accentuation des activités anthropiques, une quasi-constance du transport spécifique qui est sensiblement égal à $10 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ pour les trois années de mesures. Ce transport spécifique est particulièrement faible à l'échelle de la planète : d'après la revue de Milliman & Syvitzki (1992), les transports spécifiques sont très rarement inférieurs à 10 et peuvent excéder $10\,000 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$. Les régions de forêt équatoriale du Cameroun combinent un relief très faible, une lithologie peu érodable, un régime pluviométrique peu érosif car distribué sur toute l'année et, surtout, une végétation extrêmement protectrice.

CONCLUSION

L'analyse des résultats de mesures de débit solide sur les principaux bassins fluviaux du Cameroun a permis de relever d'une part, un très faible taux d'érosion mécanique en milieu forestier équatorial, et d'autre part une érosion mécanique de plus en plus intense de la savane arbustive à la savane sèche. Ces résultats mettent en évidence, au niveau régional, l'importance du rôle que joue le couvert végétal sur la protection des sols contre l'érosion. Par ailleurs, elle a également permis de montrer que l'homme peut, de par ses activités, freiner la dégradation du milieu naturel plutôt que de l'accentuer.

REFERENCES

- Bello, M. (2004) Flux de matières particulaires en zone de savane: exemple du bassin versant du Mayo Tsanaga à Bogu (Nord-Cameroun). Mém. D.E.A Univ. Yaoundé I, Cameroon.
- Boum, J. P., Sigha-Nkamdjou, L. & Ayissi Mevengue, G. (1983) Etudes hydrologiques du Ntem aux chutes de Menve'ele. Rapport de synthèse campagnes 1980/1983, DGRST/CRH.
- Kamgang, G. R. (2004) Flux de matières particulaires en zone de savane arbustive: exemple du bassin versant du Lom à Bétaré-Oya. Mém. D.E.A Univ. Yaoundé I, Cameroon.
- Kohoun, A. (2004) Transports fluviaux de matières en suspension et érosion mécanique dans le bassin amont du Nyong (Sud-Cameroun) Mém. D.E.A Univ. Yaoundé I, Cameroon.
- Mbousso, A. N. (2003) Flux de matières en suspension en région de: exemple du bassin versant de Mungo à Mundamé. Mémoire de maîtrise Univ. de Dschang, Cameroon.
- Milliman, J. M. & Syvitski, J. P. M. (1992) Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *J. Geol.* **100**, 525–544.

- MINPAT (Ministère du Plan et de l'Aménagement du Territoire) (1992) Schéma d'aménagement de la zone soudano-sahélienne. Rapport final bilan diagnostique.
- Naah, E. (1990) Hydrologie du Grand Yaéré du Nord Cameroun. Thèse Doctorat ès-Sciences. Univ. de Yaoundé, Cameroon.
- Ndam Ngoupayou, J. R. (1997) Bilans hydrochimiques sous forêt humide en Afrique: du bassin expérimental de Nsmi-Zoété à aux réseaux hydrographiques du Nyong et de la Sanaga (Sud-Cameroun). Thèse Uni. P. et M. Curie, Paris VI, France.
- Nouvelot, J. F. (1969) Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun. *Cahier Orstom, Série hydrologie*. VI(4), 43–85.
- Olivry, J. C., Hoorelbecke, R. & Andiga, J. (1974) Quelques mesures complémentaires des transports solides en suspension au Cameroun. Orstom, Yaoundé, Cameroon.
- Olivry, J. C. (1977) Transports solides en suspension au Cameroun. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters*, (Proc. Symp., Paris, July 1977), 134–141. IAHS Publ. 122. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Ouafo Mendo, M. R. (2004) Transports particuliers dans un bassin forestier dense: exemple du Ntem à Ngoazik. Mémoire de maîtrise. Univ de Dschang, Cameroon.
- Picard, J. (2000) Elevage et agriculture : facteurs d'érosion dans les terroirs du Nord Cameroun. *Bulletin du Réseau Erosion* 20, 289–299.
- Sigha-Nkamdjou, L. (1994) Fonctionnement hydrochimique d'un écosystème forestier de l'Afrique Centrale. la Ngoko à Moulondou (Sud-Est) du Cameroun. Thèse. Doc. Uni. Paris XI, France.
- Sigha Nkamdjou, L., Carre, P., Olivry, J. C. & Seyler, P. (1997) Hydrogéochimie d'un bassin forestier équatorial (Dja-Ngoko, Cameroun). In: *Hydrochemistry* (ed. by N. E. Peters & A. Coudrain-Ribstein) (Proc. Rabat Symp., April–May 1997), 291–298. IAHS Publ. 244. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Sigha-Nkamdjou, L., Sighomnou, D., Nya, P., Nwalal, J., Bedimo Bedimo, J. P., Nlozoa, J., Lienou, G. & Braun, J. J. (1998) Qualité de l'eau à certains sites sur le Lom, Pangar et Sanaga. Projet Lom–Pangar, Conv. MINREST/IRGM/CRH – SONEL, campagne de janvier 1998. Rap. d'avancement, Yaoundé, Cameroon.
- Sigha-Nkamdjou, L., Sighomnou, D. & Lienou, G. (2002) Vers une approche globale de la gestion de la ressource comme solution aux crises d'eau au cours des dernières décennies au Cameroun. In: *FRIEND du PHI de l'UNESCO* (Proc. de la 4ème Conf. Internationale, Cape Town, 18–22 mars 2002), 337–343.
- Tamonkem Adzeh, R. (2003) Flux de matières en suspension dans un environnement côtier: exemple du bassin versant de la Kienké à Kribi. Mémoire de maîtrise. Univ de Dschang, Cameroon.

