

Transport des matières en suspension au Cameroun dans un contexte hydroclimatique déficitaire

**GASTON LIENOU¹, GIL MAHE², ERIC SERVAT²,
RODRIGUE TEGOFACK³, JOSEPH SAHAGU³,
JACOB NWALAL³, ISSA³, JEAN-CLAUDE OLIVRY² &
GEORGES EMMANUEL EKODECK¹**

¹ *Université de Yaoundé I, Département des Sciences de la Terre, c/o IRD BP 1857 Yaoundé, Cameroun*
liengast@yahoo.fr

² *IRD, UMR HydroSciences Montpellier, BP 64 501, F-34394 Montpellier Cedex 5, France*

³ *Centre de Recherches Hydrologiques, BP 4110 Yaoundé, Cameroun*

Résumé On étudie les transports des matières, essentiellement en suspension, dans les fleuves et rivières du Cameroun. Un grand nombre de bassins versants, représentant les principales unités climatiques du pays, est suivi simultanément, avec des fréquences de prélèvements adaptées aux divers régimes hydrologiques. Cette étude vise à préciser les variations spatiales des processus de transport, mais surtout, à analyser l'évolution du transport des matières en suspension dans le contexte des changements climatiques et environnementaux (liés ou non aux activités humaines). Les mesures actuelles portent sur six rivières, drainant des bassins versants de superficie variant entre 1500 et 18 000 km². Dans ce premier article, la méthodologie utilisée d'une part pour l'estimation de la concentration moyenne dans la section et, d'autre part, pour le calcul de la masse totale exportée à l'exutoire des bassins versants est présentée. On s'appuie d'abord sur des tests de représentativité spatiale pour estimer les erreurs qui peuvent être commises en faisant varier le nombre de verticales le long de la section. Ensuite, on effectue des tests de représentativité temporelle pour estimer les erreurs commises en faisant varier d'une part la fréquence des prélèvements et d'autre part la méthode de calcul des flux sur une période. Les différences excèdent 50% en hautes eaux et 25% en basses eaux quand on passe d'un jaugeage de cinq à trois verticales. Pour les bilans des flux, les résultats de trois méthodes de calcul sont sensiblement identiques. En revanche, les écarts atteignent 20% quand la fréquence de prélèvement baisse de moitié, parfois plus de 30% en zone tropicale.

Mots clefs Cameroun; changement climatique; hydrologie; transport de matières

Suspended sediment transport in Cameroun in the context of a climatic water deficit

Abstract This contribution is concerned with the transport of sediment, primarily in suspension, by streams and rivers in Cameroun. A large number of drainage basins, representing the main climatic units of the country have been investigated simultaneously, with the frequency of sampling adapted to the range of hydrological regimes. These investigations aim to document the spatial variation of sediment transport and, more particularly, the impact of climatic and environmental change, both related and unrelated to human impact, on suspended sediment loads. The results presented here relate to six rivers with catchment areas ranging from 1500 to 18 000 km². In this initial study, the procedures used to calculate, firstly, the mean concentration in the cross section and, secondly, the sediment load at the basin outlet are considered. Attention is first directed to testing the spatial representativeness of measurements of sediment

concentration in the cross section, by considering the errors generated by varying the number of sampling verticals. Subsequently, temporal representativeness is considered by evaluating the errors introduced by varying the sampling frequency and the method employed for flux calculation. In the first case, errors of greater than 50% during high flows and 25% during lower flows are associated with a reduction in the number of sampling verticals from five to three. In the second case, the three methods employed for calculating the sediment flux are shown to produce very similar results. However, a reduction in sampling frequency by one half can introduce an error of 20%, and this can increase to 30% in the tropical zone.

Key words Cameroon; climatic change; hydrology; sediment transport

INTRODUCTION

Situé en Afrique centrale entre 2° et 13°N de latitude, et 8° et 16°E de longitude, pour une superficie de 475 000 km², le territoire camerounais couvre une grande diversité de facettes climatiques, liées à son ouverture au flux de mousson atlantique et aux grands traits de son relief. Ces distorsions oro-climatiques, associées au couvert végétal varié et aux activités anthropiques, règnent sur les divers processus dynamiques d'érosion et de transport des matières, notamment en suspension.

De nombreuses mesures de transports de sédiments, pour le plus part en relation avec des projets hydrauliques, avaient été effectuées dans les fleuves et rivières du Cameroun. Les premiers résultats obtenus notamment en zone tropicale ont été présentés (Olivry, 1977). Les données de plus de trente années ont été recueillies et une synthèse a repris et complété les précédentes (Lienou *et al.*, 2005). On en arrive à la conclusion que, si ces données fournissent une masse d'informations sur les débits solides dans les cours d'eau du pays, il n'en reste moins que les mesures n'ont pas été synchrones, effectuées pendant des années d'hydraulicités différentes, avec des méthodes de mesure et de calcul variées.

Des mesures entreprises de façon simultanée dans les principales unités climatiques et de végétation du Cameroun essayent de valider les résultats épars concernant les flux de matières aux exutoires des bassins versants, à partir d'une méthodologie adaptée aux régimes des rivières.

INCERTITUDES SUR LES MESURES DE TRANSPORT SOLIDE

La mesure des transports solides rencontre de nombreuses difficultés qui ne permettent pas d'avoir des données détaillées sur les concentrations des sédiments en suspension. De ce fait, diverses méthodes indirectes de calcul et d'interpolation sont utilisées pour estimer les quantités de matières transportées. Ces méthodes peuvent sous-estimer ou surestimer les débits solides (Walling & Webb, 1981). Ce qui peut entraîner des différences importantes entre les éléments de prise de décision proposés par certains auteurs (Walling, 1984).

Relativement peu d'études ont été faites sur la précision des mesures des transports solides. Parmi les sources d'erreurs, on distingue celles dues aux imperfections d'échantillonnage et des opérations de laboratoire, celles dues au plus ou moins grand nombre de points de contrôle dans une section, et celles dues à la répartition dans le temps des opérations de mesure.

Nouvelot (1972) a estimé pour certaines rivières du Cameroun, des erreurs dues à certaines techniques de prise d'échantillons et de laboratoire. Sur la base des données que nous avons collectées sur certaines rivières du Cameroun avec des densités assez élevées, on s'appuie d'abord sur des tests de représentativité spatiale pour estimer les erreurs qui peuvent être commises en faisant varier la répartition des points de prélèvement dans la section. Ensuite, sur des tests de représentativité temporelle pour estimer les erreurs commises en faisant varier d'une part la répartition des mesures dans le temps et d'autre part la méthode de calcul de la masse des sédiments transportés.

PRESENTATION DES BASSINS VERSANT ET CARACTERISTIQUES DES REGIMES HYDROLOGIQUES

Le choix des bassins versants à étudier est opéré en tenant compte : de la représentativité d'une unité climatique, de l'existence et de la qualité des données sur les matières en suspension, des bassins dont le régime hydrologique n'est pas excessivement modifié par des aménagements. Ainsi, six bassins versants sont retenus pour cette étude (Fig. 1).

Le bassin versant du Mayo Tsanaga représente le climat tropical sec à tendance sahélienne, caractérisé par six à sept mois de saison sèche, de décembre en mai. Les pluies qui tombent de juin en octobre sont généralement des averses orageuses et isolées. Le régime des écoulements est torrentiel, fait des crues intermittentes correspondant aux événements pluvieux. La végétation essentiellement steppique laisse de grands espaces de sols nus, soumis à diverses activités climatiques et anthropiques.

Dans la zone tropicale de transition, le Lom est la seule rivière qui ait fait l'objet de mesures antérieures de matières en suspension et dont le régime des écoulements n'est pas influencé par les aménagements hydrauliques. La saison des pluies est beaucoup plus longue, d'avril en octobre. Le régime des écoulements est du type tropical humide de transition, avec plus de 70% de l'écoulement annuel concentré entre juin et novembre.

Dans la zone équatoriale camerounaise, deux bassins sont retenus, celui du Nyong et celui du Ntem. Le bassin versant du Nyong, à la lisière septentrionale du climat équatorial, a la particularité de représenter la zone de transition entre la savane et la forêt, caractérisée par un milieu assez dégradé et anthropisé. Le bassin versant du Ntem présente en revanche un couvert forestier encore assez conservé. Les deux bassins ont un régime des écoulements du type équatorial, avec l'hydrogramme annuel divisé en quatre périodes : deux périodes de hautes eaux (mars-juin et septembre-novembre) et deux périodes de basses eaux (juillet-août et décembre-février).

Les zones côtières du Cameroun, entre l'embouchure du Ntem et la frontière nigériane, sont représentées, pour la partie sud, par le bassin versant de la Kienké et, pour la partie nord, par le bassin versant du Mungo. Ces deux bassins diffèrent par leur régime des précipitations et des écoulements. Le bassin versant de la Kienké garde les caractéristiques du régime équatorial, mais l'abondance des précipitations en fait une entité climatique différente de celle du Ntem, également en milieu équatorial. Sur le bassin versant du Mungo, proche du paroxysme pluviométrique du sud-ouest du pays, la répartition saisonnière des précipitations annuelles est encore à rattacher au climat tropical, en dépit de l'abondance des précipitations.

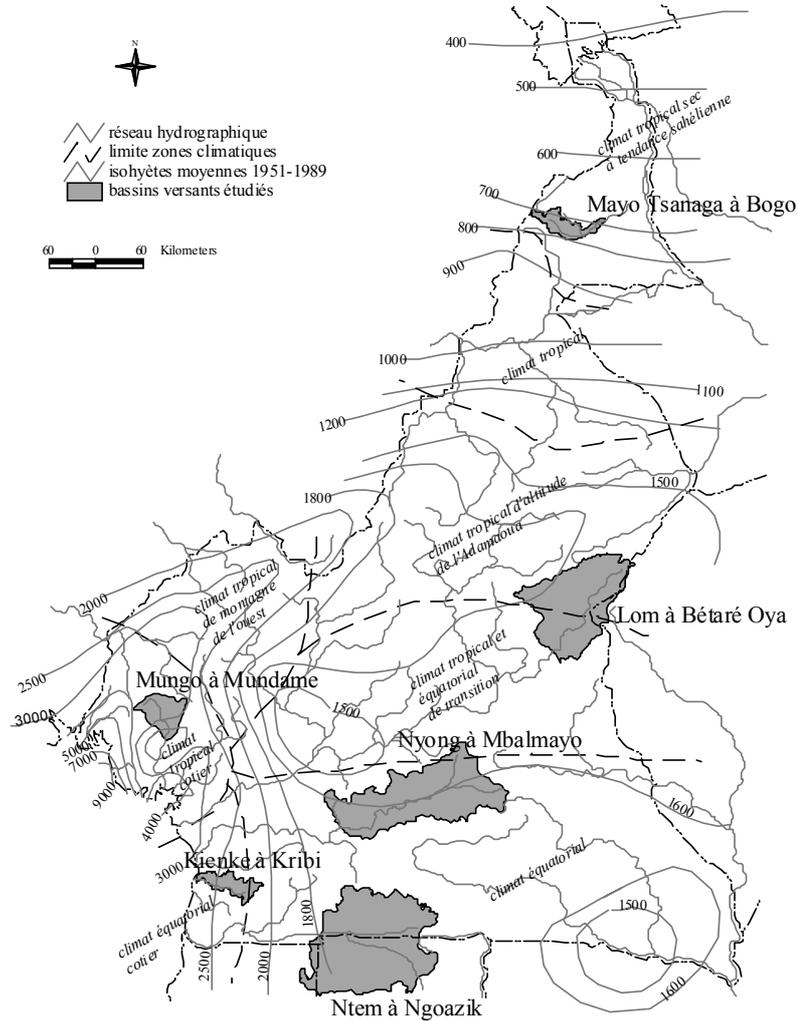


Fig. 1 Présentation des bassins versants étudiés; unités climatiques et isohyètes inter-annuelles

DONNEES ANTERIEURES SUR LES BASSINS VERSANTS ETUDIES

Quatre des six bassins versants retenus pour cette étude (Mayo Tsanaga, Lom, Nyong et Ntem) ont fait l'objet des études antérieures. Le Tableau 1 indique les périodes, les méthodes et les fréquences des mesures.

Ce tableau montre que les données antérieurement collectées, même si elles constituent un support pour des analyses spatiales du phénomène de transport de matière dans les rivières, elles n'ont pas été synchrones. On constate que les années au cours desquelles les mesures ont été effectuées sont différentes d'un bassin à l'autre. De ce fait et compte tenu de la bonne relation entre les flux de matière en suspension et les débits notamment en zone forestière (Lienou, 2005), l'hydraulicité d'une année peut avoir une influence non négligeable sur la quantité de matières transportées annuellement. De plus, il ressort toujours du Tableau 1 que les méthodes d'échantillonnage et la répartition dans le temps des mesures sont variées d'une part d'un bassin à l'autre, et d'autre part, pour le même bassin, au cours des projets de développement successifs pour lesquels ces études ont été faites.

Tableau 1 Quelques caractéristiques des données antérieures sur les bassins versants étudiés.

	Superficie (km ²)	Période de mesure de MES	Méthode de mesure	Répartition des mesures dans le temps	Auteurs
Mayo Tsanaga	1 535	1968, 1969, 1973, 1985, 1986	Jaugeages partiels et complets	Journalier	Nouvelot (1972) Olivry (1977) Naah (1990)
Lom	11 100	1997, 1998	Jaugeages complets	Trois mesures en 2 années	Sigha Nkamdjou <i>et al.</i> (1998)
Nyong	13 555	depuis 1994	Prélèvements en surface	hebdomadaire, bimensuelle et mensuelle	Ndam Ngoupayou (1997)
Ntem	18 100	de 1981 à 1983	Prélèvements corrigés par les jaugeages complets	Bihebdomadaire	Boum <i>et al.</i> (1983)
Mungo	2 420				
Kienke	1 435				

L'étude que nous entreprenons intègre les principales unités climatiques du pays. Les prélèvements d'eau pour la détermination des flux de matières solides à l'exutoire des cours d'eau sont simultanés depuis l'année 2002. Les techniques et les fréquences de mesures sont adaptées aux régimes des rivières étudiées. L'approche méthodologique utilisée repose sur deux paramètres essentiels: (a) la représentativité de la densité des points de prélèvement dans la section de mesure, et (b) la fréquence des mesures dans le temps.

PROTOCOLE DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS D'EAU POUR LES MATIERES EN SUSPENSION

La mesure de la quantité des matières en suspension transportées par les rivières nécessite le contrôle de la variation des concentrations dans l'espace (section de la rivière) et dans le temps (fréquence des prélèvements). La mise en oeuvre d'un suivi continu de ces variations nécessiterait la mobilisation d'un important moyen humain et matériel pour des opérations longues et harassantes de terrain (jaugeages et prélèvements) et de laboratoire (filtrations).

Sur la base d'une méthodologie établie par Nouvelot (1972), nous avons élaboré un protocole d'échantillonnage des eaux, pour la détermination des matières en suspension transportées par les rivières étudiées. Les échantillons sont traités au laboratoire sur des filtres millipores Whatman de porosité 0.45 µm en acétate de cellulose. Les résidus secs pesés et ramenés à un litre donnent la concentration de l'échantillon.

PRECISION SUR LA CONCENTRATION MOYENNE DANS LA SECTION DE LA RIVIERE: DENSITE ET REPARTITION DES POINTS DE MESURE

Le contrôle de la répartition des concentrations dans les sections des rivières se fait au moins des jaugeages complets, qui consiste à prendre des échantillons à divers points, où

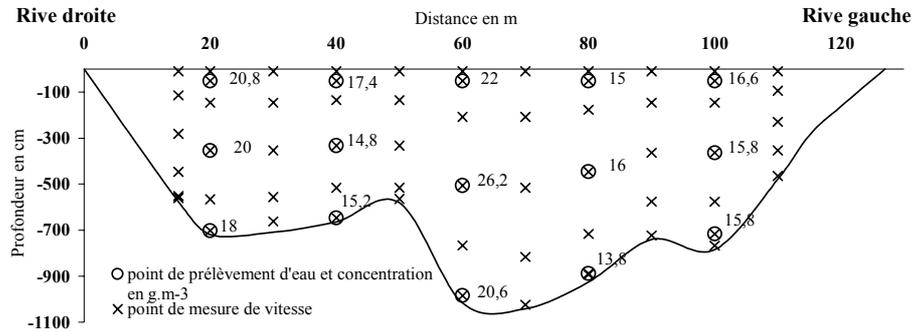


Fig. 2 Répartition des concentrations dans la section du Ntem à Ngoazik; jaugeage complet du 19 juin 2002.

on a mesuré les vitesses d'écoulement. Nous avons effectué des prélèvements en 15 points répartis sur cinq verticales: rive droite, rive gauche, milieu, et entre les deux (rive droite 1/3 et rive gauche 1/3), et trois points par verticale: fond, milieu et surface (Fig. 2).

En chaque point situé à une profondeur p d'une verticale placée à une distance l de la largeur de la rivière, sont mesurés à la fois la vitesse du courant v et la concentration des matériaux en suspension c . La répartition des concentrations en différents points de la section ne montre aucune variation notable des matières en suspension, tant sur la largeur que sur la profondeur. La verticale du milieu présente toutefois des valeurs de concentration légèrement plus élevées sur toute sa profondeur.

Le débit des matériaux en suspension Q_s est obtenu par double intégration des concentrations ponctuelles C_i pondérées avec les vitesses V_i , sur les verticales et sur la largeur:

$$Q_s = \int_0^l \int_0^p C_i V_i dl dp \quad (1)$$

La concentration moyenne dans la section est définie par le rapport:

$$C_m = Q_s / Q \quad (2)$$

Sachant qu'on ne peut en général pas effectuer un grand nombre de mesures, plusieurs choix sont possibles en fonction des caractéristiques des écoulements. Nous citons à titre d'exemple des mesures sur une seule verticale pour le bassin du fleuve Congo (Olivry *et al.*, 1988), des mesures sur trois verticales dans le bassin supérieur du fleuve Sanaga (Sigha Nkamdjou *et al.*, 1998). Suivant la répartition des concentrations ponctuelles dans la section de la rivière, la concentration moyenne des matières en suspension peut dépendre du nombre et de la position des verticales de mesure. Pour étudier cette influence, nous avons pour quelques jaugeages de moyennes et hautes eaux, calculé le débit solide et la concentration des matériaux en suspension en faisant varier le nombre et la position des verticales. Trois choix sont ainsi faits :

- dépouillement sur une verticale: seule la verticale du milieu est considérée;
- dépouillement sur deux verticales: rive droite 1/3 et rive gauche 1/3;
- dépouillement sur trois verticales: rive droite, milieu et rive gauche.

Le résultat de tous ces calculs est comparé à celui du dépouillement du jaugeage à cinq verticales pris comme la valeur vraisemblable. Le Tableau 2 présente les différents résultats.

Tableau 2 Débits et concentrations moyennes des matières en suspension en fonction du nombre de verticales choisies pour le jaugeage.

Station	Date	(1)			(2)			(3)			(4)		
		\bar{Q} ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	\bar{Q}_s (kg s^{-1})	\bar{C}_m (g m^{-3})	\bar{Q}_s (kg s^{-1})	\bar{C}_m (g m^{-3})	\bar{Q}_s (kg s^{-1})	\bar{C}_m (g m^{-3})	\bar{Q}_s (kg s^{-1})	\bar{C}_m (g m^{-3})	\bar{Q}_s (kg s^{-1})	\bar{C}_m (g m^{-3})	
Ntem à Ngoazik	19/06/2002	476	13.5	28.4	5.6	11.7	8.2	17.2	7.5	15.8			
Nyong à Mbalmayo	21/06/2002	160	3.6	22.5	2.0	12.5	3.5	22.0	3.0	18.8			
Kienke à Kribi	26/10/2002	91	0.5	5.5	1.0	11.0	0.6	6.6	0.8	8.8			
Mungo à Mundame	21/08/2002	354	10.0	28.3	13.6	38.4	11.2	31.6	12.7	35.9			
Lom à Bétaré Oya	23/10/2002	387	17.4	45.0	28.0	72.4	25.0	64.6	26.5	68.5			

(1) résultat du dépouillement sur la verticale du milieu;

(2) résultat du dépouillement sur deux verticales (rive droite 1/3 et rive gauche 1/3);

(3) résultat du dépouillement sur trois verticales (rive droite, milieu et rive gauche);

(4) résultat du dépouillement sur les cinq verticales;

\bar{Q} débit liquide; \bar{Q}_s débit solide; \bar{C}_m concentration moyenne.

La concentration moyenne obtenue varie considérablement suivant le nombre et la position des verticales prises en compte pour le jaugeage. Il semble que les valeurs sont plus élevées au milieu de la section (28.4 g m^{-3} pour le Ntem et 22.5 g m^{-3} pour le Nyong) et plus faibles aux bords, pour les cours d'eau en zone forestière (Ntem et Nyong). Cette répartition peut être due à la végétation qui ralentit les écoulements et filtrent les matières en suspension vers le rivage. Pour la Kienke, la plus faible concentration (5.5 g m^{-3}) obtenue au milieu de la section est due à un îlot d'herbe en amont de la station de jaugeage, qui crée des champs de vitesse et de concentration plus élevées vers les bords (1/3 de la rive droite et 1/3 de la rive gauche). Les écarts par rapport aux concentrations moyennes probables (obtenues sur cinq verticales) sont de l'ordre de +20% à +80% pour le Ntem et le Nyong, et -38% pour la Kienke.

L'analyse de la répartition des matières en suspension dans la section des rivières montre que celles-ci peut aussi être influencée par la forme du profil en travers. En effet, les zones de grande profondeur concentrent généralement plus de matières, associées à des champs de vitesses élevées. Parallèlement aux champs de vitesses, la variation des concentrations dans la section semble un peu différente en étiage et en hautes eaux.

PRÉCISION SUR LA QUANTITÉ DE MATIÈRE TRANSPORTÉE: FRÉQUENCE DE MESURE ET MÉTHODES DE CALCUL

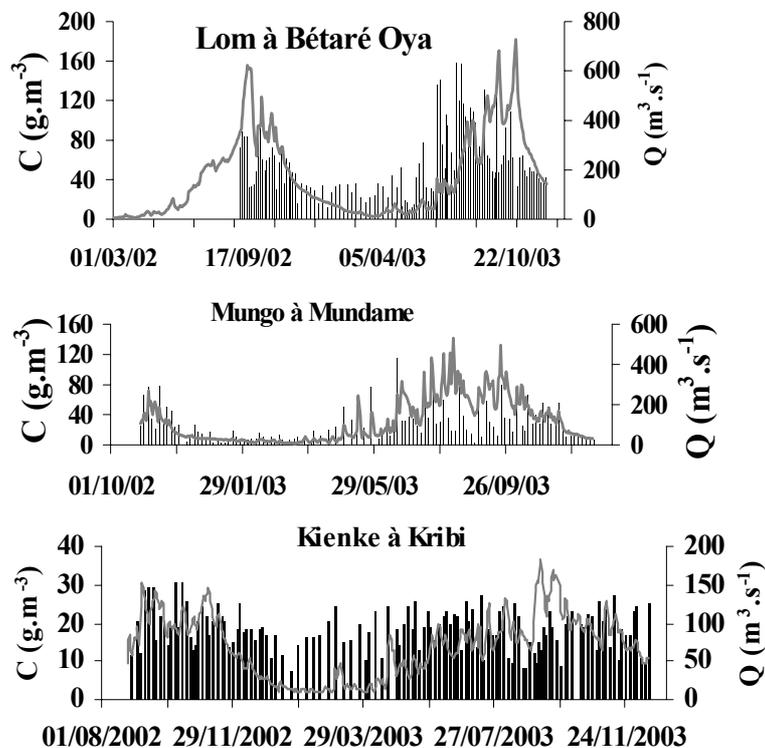
Nous avons adapté le protocole pour le suivi des variations temporaires des concentrations aux régimes hydrologiques et aux saisons. Le Tableau 3 résume les fréquences de prélèvements aux exutoires des bassins versants. En périodes de basses eaux, pendant lesquelles les débits varient peu, et les matériaux solides sont essentiellement liés à l'érodibilité des berges, les prélèvements sont espacés (un échantillon par semaine). En périodes de hautes eaux, pour pouvoir suivre au mieux les fluctuations des

Tableau 3 Fréquences des prélèvements par mois et par station.

Rivière	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sep.	oct.	nov.	déc.
Ntem	Diagonale											
Nyong	Diagonale											
Kienké	Diagonale											
Mungo	Diagonale											
Lom	Diagonale											
Mayo Tsanaga	Diagonale											



1 prélèvement par semaine en basses eaux
 2 prélèvements par semaine en eaux hautes
 1 prélèvement par jour et plusieurs en crue

**Fig. 3** Variation des débits (en courbe) et des concentrations (en histogrammes) sur trois des six rivières étudiées.

débits, deux prélèvements sont effectués chaque semaine, avec des prélèvements supplémentaires à la pointe des crues. Dans le cas particulier du Mayo Tsanaga, on effectue des prélèvements quotidiens pendant la période d'écoulement, et plusieurs pendant les crues intermittentes. Pour la première année de cette étude (septembre 2002–décembre 2003), nous avons obtenu à chaque station une série de débits et de concentrations (Fig. 3).

Les difficultés liées au transport, au stockage et au traitement des échantillons contraignent à réduire la fréquence des mesures pour la détermination des transports de

sédiments. Toutefois, afin de valoriser l'information lors du calcul de la quantité de matières transportées, des interpolations sont souvent faites sur des périodes sans mesures, en utilisant diverses méthodes de calcul, à partir des concentrations et des débits mesurés.

Parmi les facteurs qui influencent la précision des données sur les flux de matières, la fréquence des mesures et la méthode de calcul sont d'une grande importance (Walling & Webb, 1981; Walling, 1984). La plus part des flux de matières calculés pour les fleuves africains se sont basés sur de mesures généralement mensuelles. Nous avons effectué depuis plus d'un an des mesures de débits et de concentrations à des fréquences élevées (mesures quotidiennes de débits et au moins une mesure de concentration par semaine). De ce fait, nous avons retenu trois méthodes stochastiques couramment utilisées pour les cours d'eau tropicaux pour la détermination des flux de matières (Laraque & Olivry, 1999; Probst, 1983; Probst *et al.*, 1992; Boeglin & Probst, 1996).

Méthode 1

$$M = \delta t \cdot Q_m \cdot \frac{\sum_{i=0}^{i=1} C_i}{n} \quad (3)$$

Méthode 2

$$M = \delta t \cdot \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_i \cdot Q_i}{n} \quad (4)$$

Méthode 3

$$M = \delta t \cdot Q_m \cdot \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i} \quad (5)$$

Dans ces formules, M représente la masse totale, δt l'intervalle de temps, Q_m le débit moyen pour la période considérée, Q_i et C_i sont les débits et les concentrations instantanés, et n le nombre mesure sur la période δt . L'intervalle de temps δt choisi pour les calculs est le mois, dans le souci de garder une homogénéité pour les fréquences de mesure. Par ailleurs, il est possible de faire varier, pour la même méthode de calcul, la fréquence des observations.

Comme il montre le Tableau 4, les résultats obtenus en appliquant les trois méthodes de calcul ne sont pas significativement différents. Les écarts sont généralement inférieurs à 5%, ce qui corrobore l'observation de Probst *et al.* (1992), pour les flux de matières dissoutes sur le Congo et l'Oubangui son principal affluent. Par ailleurs, lorsque la fréquence des mesures est plus faible (une mesure toutes les deux semaines en basses eaux et une mesure par semaine en eaux hautes), l'écart entre les résultats des trois méthodes reste globalement constant, mais pour chaque méthode de calcul, les différences avec les résultats obtenus pour l'ensemble des données dépassent fréquemment 30% pour les rivières en zone tropicale.

Tableau 4 Flux mensuels des matières en suspension ($\times 10^3$ tonnes) calculés pour le Lom, le Mungo et la Kienke par trois méthodes différentes.

Méthode	Année 2002/2003						Année 2003/2004								
	sep.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil	août	sep.	oct.	nov.
Lom															
1	69.8	64.6	25.9	8.1	4.8	2.1	1.1	3.0	2.3	11.8	37.7	77.7	85.9	87.1	27.7
2	72.1	66.2	26.5	8.0	4.6	1.9	1.1	2.9	2.6	17.0	41.5	80.7	84.1	80.8	28.2
3	70.1	65.6	27.4	8.3	4.8	2.0	1.1	3.0	2.6	16.4	40.4	79.5	85.3	86.4	28.1
Mungo															
1	-	-	15.9	1.6	0.5	0.4	0.3	1.0	9.4	12.1	26.4	21.2	32.1	19.6	7.6
2	-	-	19.5	1.6	0.5	0.4	0.3	0.8	12.6	17.2	34.1	21.6	32.8	22.1	9.7
3	-	-	17.7	1.7	0.5	0.4	0.3	1.0	10.9	16.2	30.8	23.5	35.0	20.7	9.3
Kienke															
1	6.3	5.7	5.1	2.0	0.5	0.5	0.9	1.6	2.5	3.9	4.1	3.6	5.7	5.4	4.2
2	6.4	5.9	5.1	2.0	0.6	0.5	0.9	1.7	2.5	3.8	4.1	3.7	5.8	5.5	4.3
3	6.5	5.8	5.2	2.1	0.5	0.5	1.0	1.8	2.5	3.9	4.1	3.7	5.7	5.4	4.3

Tableau 5 Bilan de transport de matière entre Septembre 2002 et Novembre 2003.

Rivière	Période de mesure	Flux ($\times 10^3$ tonnes)
Lom	sep. 2002–fév. 2003	178
	mars 2003–nov. 2003	339
Mungo	nov. 2002–fév. 2003	21
	mars 2003–nov. 2003	143
Kienke	sep. 2002–fév. 2003	21
	mars 2003–nov. 2003	33

Les variations saisonnières des flux de matières suivent celles des débits, avec des valeurs élevées en période de hautes eaux comparativement à la période de basses eaux. Pour tous les bassins étudiés, ces premiers résultats ne couvrent pas encore un cycle hydrologique complet. Le Tableau 5 présente les résultats partiels correspondant à la fin de l'année 2002/2003 et au début de l'année 2003/2004.

CONCLUSION

Le principal objectif du programme scientifique qui supporte ce travail vise à analyser l'évolution des flux de matières en suspension dans les principales unités climatiques du Cameroun, dans un contexte climatique et environnemental changeant, lié ou non aux activités humaines. Les données collectées durant cette première année du programme ne sont pas encore suffisantes pour discuter de ce problème et, de plus, la période observée ne cadre pas avec un cycle hydrologique complet. Néanmoins, au stade des premiers résultats, on retient quelques précisions concernant la méthodologie de collecte des données et de calcul des flux de matières en suspension.

Pour les rivières en zone forestière, les matières en suspension sont transportées majoritairement vers le milieu de la section, alors qu'en zone tropicale, les eaux sont plus concentrées vers les berges. La profondeur de la verticale de mesure et la répartition des

vitesse d'écoulement influencent aussi la distribution des concentrations. Des erreurs sur la concentration moyenne peuvent excéder 50% si le choix des points de mesure n'est pas fait de façon judicieuse.

Trois méthodes stochastiques de calcul des flux de matières sur une période donnent des résultats assez semblables, avec des écarts inférieurs à 5%. Toutefois, la fréquence des mesures est un facteur déterminant pour la précision des résultats. Des différences dépassent fréquemment 30% quelle que soit la méthode de calcul, pour des mesures moins fréquentes, notamment en zone tropicale.

Remerciements Ce programme est réalisé avec le soutien de la coopération française, de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et du CRH (Centre de Recherches Hydrologiques). Les auteurs remercient Monsieur Alain Laraque pour les éclaircissements sur la méthodologie de traitement des données.

REFERENCES

- 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., Ayissi G. & Nwalal, J. (1983) Etudes hydrologiques du Ntem aux chutes de Menve'ele. Rapport de synthèse, campagnes 1980/1983. Dgrst/Irgm, Yaoundé, Cameroun.
- Laraque, A. & Olivry, J. C. (1999) Transports spécifiques dans le bassin du Congo. *Manaus'99-Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River basins*. CD-Rom Manaus'99-HiBAm.
- L'Hôte, Y. & Mahé, G. (1996) Afrique de l'ouest et centrale, précipitations moyennes annuelles (période 1951–1989). Carte à l'échelle 1/6 000 000. Orstom, Paris.
- Liéno, G. (2005) Impacts anthropiques et climatiques sur l'évolution récente de quelques bassins représentatifs au Cameroun: climatologie, hydrologie, érosion, transport de matière. (Thèse en cours, Université de Yaoundé, Cameroun.)
- Liéno, G., Mahé, G., Olivry, J. C., Naah, E., Servat, E., Sigha-Nkamdjou, L., Sighomnou, D., Ndam Ngoupayou, J., Ekodeck, G. E. & Paturel, J. E. (2005) Régimes des flux des matières solides en suspension au Cameroun: revue et synthèse à l'échelle des principaux écosystèmes; diversité climatique et actions anthropiques. *Hydrol. Sci. J.* **50**(1), 111–123.
- Naah, E. (1990) Hydrologie du Grand Yaéré du nord-Cameroun. Thèse de Doctorat des Sciences, Université de Yaoundé, Cameroun.
- Ndam Ngoupayou, J. R. (1997) Bilans hydrogéo-chimiques sous forêt tropicale humide en Afrique: du bassin expérimental de Nsimi-Zoété à des réseaux hydrographiques du Nyong et de la Sanaga au Sud-Cameroun. Thèse Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France.
- Nouvelot, J. F. (1972) Méthodologie pour la mesure en réseau des transports solides en suspension dans les cours d'eau intertropicaux peu chargés. *Cahiers Orstom Hydrologie* **9**(1), 3–18.
- Olivry, J. C. (1977) Transports solides et en suspension au Cameroun. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters* (Proc. Paris Symp., July 1977), 134–141. IAHS Publ. 122, IAHS Press, Wallingford, UK.
- Olivry, J. C., Bricquet, 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 particuliers sur le bassin du fleuve Congo. In: *Sediments Budgets* (ed. by M. P. Bordas & D. E. Walling) (Proc. Porto Alegre Symp., December 1988), 509–521. IAHS Publ. 174. IAHS Press, Wallingford. UK.
- Probst, J. L. (1983) Hydrologie du bassin de la Garonne: modèle de mélanges—bilan de l'érosion, exportation des phosphates et des nitrates. Thèse Doctorat 3^e cycle, Université Paul Sabatier de Toulouse, France.
- Probst, J. L., Nkounkou, R. R., Krempp, G., Bricquet, J. P., Thiebaut, J. P. & Olivry, J. C. (1992) Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangui rivers during the period 1987–1989. *J. Hydrol.* **135**, 237–257.
- Sigha-Nkamdjou, L., Sighomnou, D., Nia, P., Nwalal, J., Bedimo Bedimo, 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. *Rapport de synthèse*, Irgm, Yaoundé, Cameroun.
- Walling, D. E. (1984) The sediment yields of African rivers. In: *Challenges in African Hydrology and Water Resources* (ed. by D. E. Walling, S. S. D. Foster & P. Wurzel) (Proc. Harare Symp., July 1984), 265–283. IAHS Publ. 144. IAHS Press, Wallingford. UK.
- Walling, D. E. & Webb, B. W. (1981) The reliability of suspended sediment load data. In: *Erosion and Sediment Transport Measurement* (Proc. Florence Symp., June 1981), 17–194. IAHS Publ. 133. IAHS Press, Wallingford. UK.