

Variabilité climatique et transport de matières en suspension sur le bassin de Mayo-Tsanaga (Extrême-Nord Cameroun)

Gaston Liéno¹
 Gil Mahé²
 Jean-Emmanuel Paturel²
 Eric Servat²
 Georges Emmanuel Ekodeck¹
 Félix Tchoua¹

¹ Département des sciences de la terre
 Université de Yaoundé-I
 BP 812
 Yaoundé
 Cameroun
 <liengast@yahoo.fr>
 <gekodeck@yahoo.fr>
 <ftchoua@uycdc.uninet.cm>
² IRD
 UMR hydrosociences Montpellier
 BP 64 501
 34394 Montpellier cedex 05
 France
 <gil.mahe@msem.univ-montp2.fr>
 <jean-emmanuel.paturel@msem.univ-montp2.fr>
 <eric.servat@msem.univ-montp2.fr>

Résumé

Compte tenu des connaissances acquises sur la variabilité des pluies et des écoulements en Afrique, il est intéressant d'étudier leur répercussion sur la qualité des transports de matières, notamment les matières en suspension (MES). Pour la plupart des cours d'eau, cette analyse se heurte à la disponibilité et à la longueur des séries de données sur les MES ; d'autant plus que des mesures systématiques en continu des exportations de matières nécessitent de longues et pénibles opérations de terrain et de laboratoire. Toutefois, à l'Extrême-Nord Cameroun, le petit bassin du Mayo-Tsanaga, d'une superficie de 1 535 km², a bénéficié de programmes de recherche successifs qui ont permis de suivre ce bassin à différentes périodes et de disposer maintenant de quatre séquences de données sur les MES (1968-1969, 1973, 1985-1986 et 2002-2004). L'analyse des écoulements montre que les débits sont passés d'une moyenne de 8,7 m³/s, à la fin des années 1960, à 3,6 m³/s au début de la décennie 2000, soit une diminution supérieure à 50 %. Dans le même temps, les valeurs des concentrations moyennes de MES ont varié dans le sens inverse, passant de 1 088 à 2 100 mg/L, avec un maximum de 3 027 mg/L observé en 2003. Cependant, les flux de matières ne suivent pas la tendance des concentrations et restent globalement constants, combinaison de concentrations élevées avec des débits faibles. Ces analyses renseignent dans le contexte actuel de sécheresse, sur la dégradation importante du milieu, avec des répercussions sur les transports de MES. L'augmentation des concentrations indique une mise à disposition sur les versants de quantités plus élevées de MES. Mais les quantités de MES transportées restent à peu près les mêmes que celles d'avant la sécheresse, du fait de la faiblesse des écoulements.

Mots clés : hydrologie, matières en suspension, Nord-Cameroun, variabilité climatique.

Abstract

Climatic variability and transport of suspended matter in the Mayo-Tsanaga basin (Extreme-North Cameroon)

Considering the knowledge acquired on the variability of rainfall and stream flow in Africa, it is interesting to study their impact on the quality of the transport of materials, notably that of suspended matter. For most streams, this analysis depends on the availability and the presence of a long and systematic series of data on suspended matter. However, such systematic and continuous measurements require long and tedious field and laboratory measurements. The small Mayo-Tsanaga basin in the Extreme-North Cameroon, with a surface area of 1,535 km², have benefited from successive research programmes which have enabled the basin to be followed at different periods providing four series of data on suspended matter (1968-1969, 1973,

Tirés à part : G. Liéno

1985-1986 et 2002-2004). Analysis of river flow has shown that the discharges have decreased from above an average of 8.7 m³/s at the end of the year 1960 to 3.6 m³/s at the beginning of 2000, a drop of more than 50%. At the same time, the average value for the concentration of suspended matter has changed in the reverse order, passing from 1,088 to 2,100 mg/L, with a minimum of 3,027 mg/L observed in 1983. However, the flux of material does not follow the trend of concentration but rather remains constant globally, combining high concentrations with low flows. This finding gives information on the actual context of desertification, on the degradation of the environment and the impacts on the transport of suspended matter. The increase in concentration indicates the availability of large volumes of suspended matter in the basin. However, the quantity of suspended matter transported remains almost the same when compared with that before desertification due to the low flow rates.

Key words: climatic variability, hydrology, North Cameroon, suspended matter.

Les premières mesures des matières en suspension (MES) au Cameroun se sont appuyées sur des stations agronomiques installées dans le cadre de programmes de conservation de l'eau et des sols à l'échelle des parcelles et, plus tard, sur quelques petits bassins expérimentaux. Par la suite, à la faveur du développement des réseaux de mesures des débits liquides dans les fleuves et rivières, se sont développés des programmes de recherche plus importants, visant la compréhension des processus érosifs et des bilans des matières (solides et dissoutes) transportées à l'échelle des grands bassins fluviaux. Mais ces mesures des transports solides en suspension se limitent trop souvent à la durée du programme qui les a engendrées, alors que de telles études nécessiteraient un suivi long de mesures dont la fréquence, globalement, croît inversement avec la superficie du bassin étudié.

Les travaux menés au cours de la décennie 2000 sur le bassin tropical sec du Mayo-Tsanaga à l'Extrême-Nord Cameroun [1-3] permettent de compléter les travaux effectués antérieurement [4-6]. L'ensemble permet, par comparaison, de constater que les MES (concentrations et flux) ont augmenté, alors que les débits qui les ont véhiculés ont diminué concomitamment à la sécheresse pluviométrique. Cela peut susciter des réflexions sur l'évolution des sols des versants, sources de ces matières depuis le début de la sécheresse.

État des connaissances sur les transports en matière au Cameroun

Les premiers travaux ont concerné la partie nord du Cameroun en 1955-1956. Ceux-ci ont permis de dégager quelques tendances qualitatives du phénomène d'érosion. Vers la fin des années 1960, des hydrologues de l'Orstom (actuellement IRD) mettent au point une méthodologie appropriée à

l'étude des transports solides en suspension dans les contextes climatiques camerounais. Quelques campagnes de mesures sont alors effectuées, principalement sur les bassins-versants de la Sanaga et du Mbam (climat tropical de transition) et sur le bassin-versant du Mayo-Tsanaga (climat tropical sec). Les résultats ont fait l'objet de plusieurs publications [4, 5, 7-9]. Des mesures ultérieures ont été réalisées à l'occasion des projets de développement tels que les barrages hydroélectriques [10-12] ou le projet Grand-Yaéré [6]. Depuis, d'autres travaux ont été réalisés notamment en zone méridionale dans le cadre des programmes régionaux tels que Programme sur l'environnement de la géosphère inter-tropicale (Pegi) [13], Dylat (Dynamique des couvertures latéritiques) [14], Coopération africaine et malgache pour la promotion universitaire et scientifique (Campus) et, actuellement, Observatoire régional de l'environnement (ORE). Les mesures débutées au début des années 2000 [2, 3] visent, entre autres, à étendre le réseau de mesures (figure 1) aux unités climatiques pour lesquelles les données n'étaient pas disponibles.

Même si l'ensemble de ces travaux a été réalisé de façon irrégulière, à différentes périodes, ils permettent d'analyser les régimes des transports de MES dans les fleuves et rivières du Cameroun, d'en établir des bilans et de mesurer l'impact de la variabilité climatique et des activités humaines sur les régimes hydrologiques et sur les transports solides dans les cours d'eau. Notre travail se focalisera sur le bassin du Mayo-Tsanaga.

Régime du Mayo-Tsanaga

Le Mayo-Tsanaga prend naissance dans le massif montagneux des Monts Mandara ; sa pente est alors forte, son cours est torrentiel avant de déboucher dans la plaine alluviale, peu après la station de Maroua, où son bassin n'est plus qu'une

bande de quelques kilomètres de large (figure 2). La pente devient plus faible, les méandres sont prononcés, et finalement les eaux du Mayo se répandent dans les plaines qui bordent le Logone.

La station de Bogo, où les données sur les MES sont disponibles sur plusieurs séquences temporelles successives, est située dans la plaine alluviale, avant que le réseau hydrographique ne rejoigne définitivement les basses zones inondées. Le bassin-versant, d'une superficie de 1 535 km², reçoit annuellement 800 à 900 mm de pluie. L'écoulement du Mayo-Tsanaga est permanent de juillet à octobre ; les crues moyennes présentent en général des débits maximums d'une centaine de mètres cubes par seconde, mais les importantes peuvent atteindre 300 m³/s. Le module annuel varie entre 5 et 7 m³/s, et le coefficient d'écoulement annuel varie entre 13 et 16 %.

Mesures des MES sur le bassin de Mayo-Tsanaga

Quatre stations contrôlant des sous-bassins-versants emboîtés ont fait l'objet d'études visant à quantifier les MES, ce sont, de l'amont vers l'aval : les stations de Mokolo, Minglia, Maroua et Bogo. La station de Bogo a été suivie, mais de façon intermittente au cours de quatre programmes de recherche, entre 1968 et 2004, et nous disposons d'un total de huit années d'observations. Quant aux trois autres stations, les mesures récoltées ne sont que très sommaires.

Station de Mokolo (49 km²)

En 1975, l'étude de MES à la station de Mokolo avait pour cadre la conception d'un projet pour l'aménagement de la retenue d'adduction d'eau potable de la ville de Mokolo. Les mesures journalières ont duré toute la saison des pluies, entre juin et octobre.

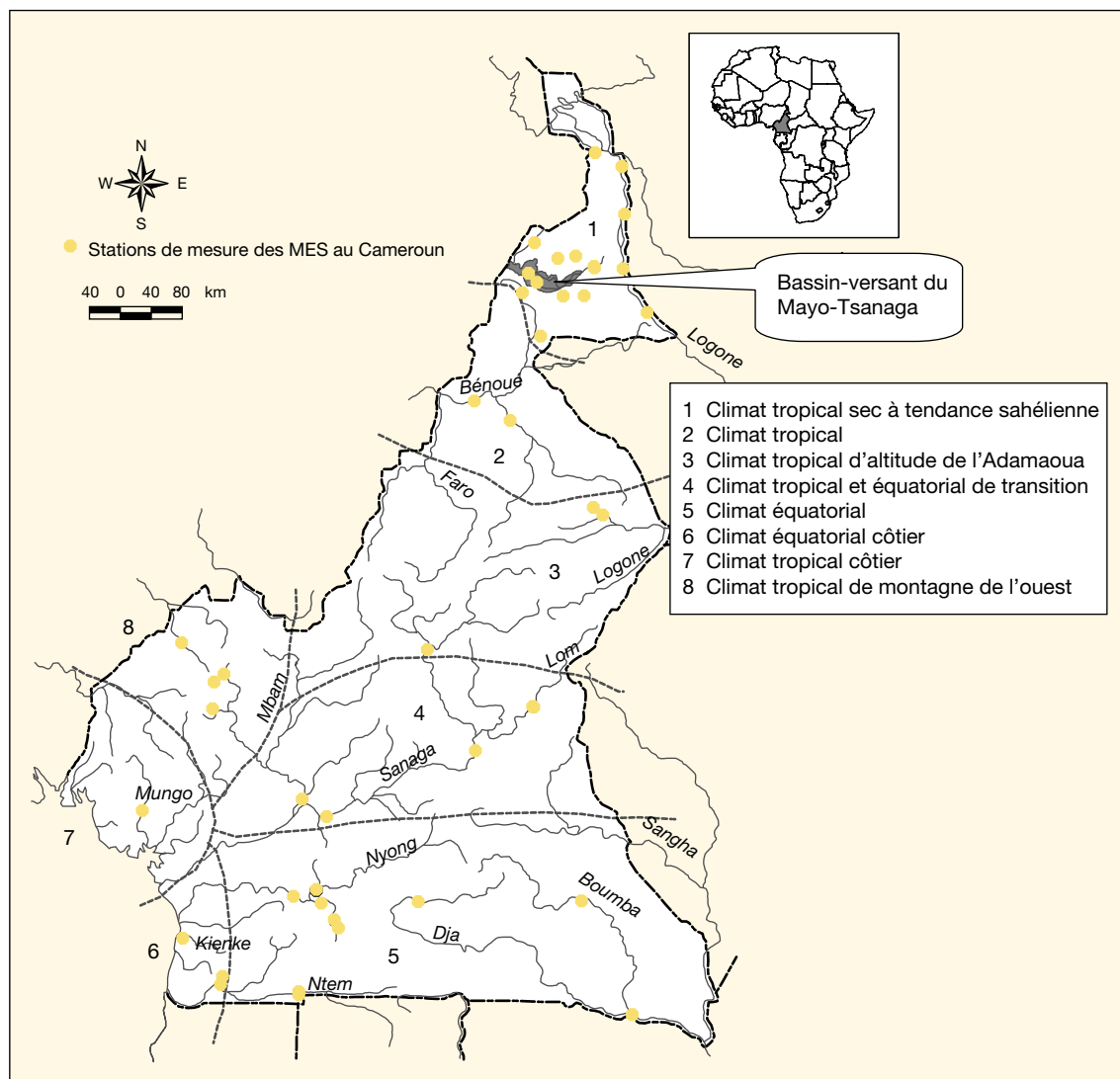


Figure 1. Stations de mesure des MES au Cameroun.

Station de Minglia (575 km²)

En 1977, dans le cadre de l'élaboration du projet d'aménagement de la plaine de Gazawa, la charge solide du Mayo-Tsanaga a été évaluée à la station de Minglia avant le passage du seuil montagneux. Les mesures journalières ont duré toute la saison des pluies, entre juin et octobre.

Stations de Maroua (845 km²)

Au cours des années 1968 et 1969, parallèlement à l'étude de MES à la station de Bogu, quelques mesures ont été effectuées à Maroua. Celles-ci ont été présentées dans la monographie du Mayo-Tsanaga [4].

Station de Bogu (1 535 km²)

Les MES ont été étudiées en 1968, 1969, 1973, 1985, 1986, 2002, 2003 et

2004. Les campagnes ont consisté en des mesures complètes comprenant des échantillons prélevés sur différentes verticales et à différentes profondeurs au cours de la saison des pluies :

- en 1968, entre le 05 juillet et le 18 octobre, 53 mesures complètes correspondant à 460 prélèvements ;
- en 1969, entre le 18 juin et le 06 octobre, 84 mesures complètes correspondant à 720 prélèvements ;
- en 1973, entre le 11 juillet et le 02 octobre, 114 mesures correspondant à 883 prélèvements (avec au moins trois prélèvements par crue, un à la montée, un au maximum et un à la décrue) ;
- en 1985 et 1986, les mesures étaient effectuées chaque jour. Le nombre d'échantillons n'est pas précisé ;
- entre 2002 et 2004, les échantillons sont prélevés chaque jour quand le niveau d'eau

ne varie pas considérablement. Lors des crues éclair, plusieurs prélèvements sont effectués en montée et en décrue. Entre 120 et 200 échantillons sont prélevés chaque année.

Variabilité de débits et des MES sur le bassin-versant de Mayo-Tsanaga

Le module annuel du Mayo-Tsanaga à la station de Bogu, depuis le début des observations en 1966, est de 6,6 m³/s, pour un total de 31 années observées. Les plus forts écoulements ont été enregistrés en 1994 et 1975, avec respectivement 14,7 et 13,2 m³/s, alors que 1984 représente l'année de plus faible hydraulité, avec

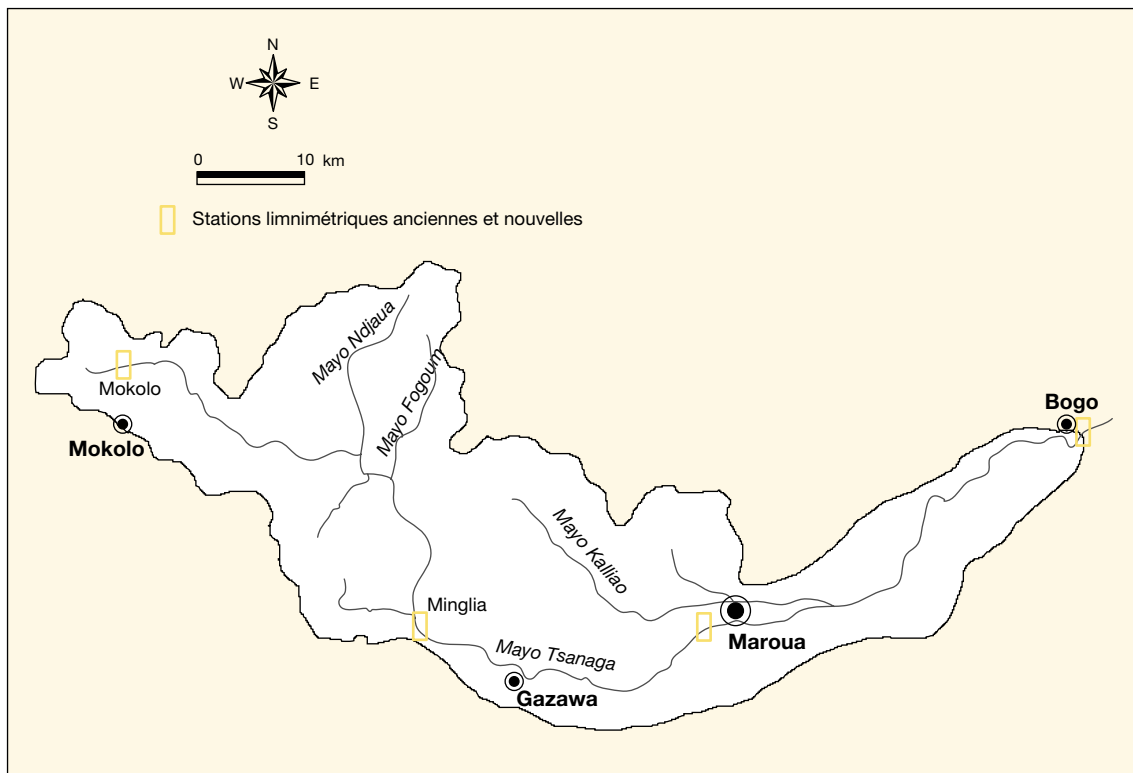


Figure 2. Bassin-versant du Mayo-Tsanaga à Bogo.

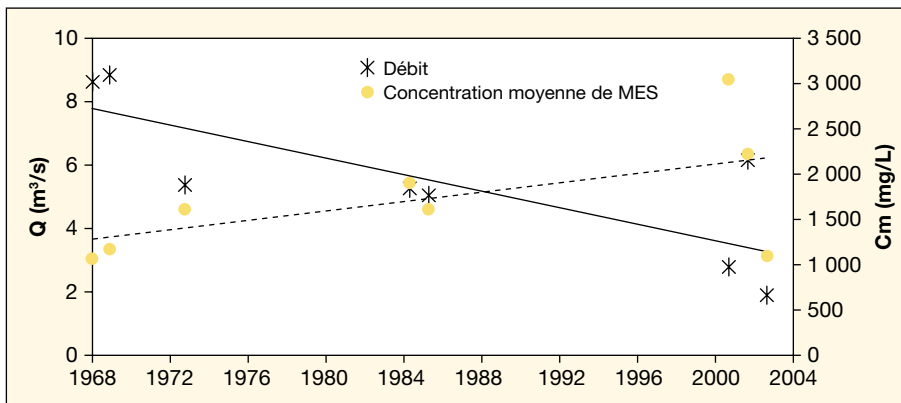


Figure 3. Évolution des moyennes annuelles des débits et des concentrations sur le bassin-versant du Mayo-Tsanaga à Bogo.

Tableau I. Résultats de huit années de mesures de matières en suspension (MES) sur le bassin-versant de Mayo-Tsanaga à Bogo.

	Débits (m ³ /s)	Écart par rapport à la moyenne (%)	Flux (× 10 ³ tonnes)	Concentration moyenne (mg/L)
1968	8,6	+30	293,2	1 038
1969	8,8	+33	328,9	1 138
1973	5,3	-20	271,3	1 590
1985	5,2	-21	320,5	1 876
1986	5	-24	250,4	1 595
2002	2,7	-59	257,7	3 027
2003	6,1	-8	425,5	2 212
2004	1,8	-73	60,7	1 070

un débit de 1,2 m³/s. Les écoulements sur ce bassin-versant sont donc marqués par une variabilité interannuelle caractéristique de la zone tropicale sèche à laquelle il appartient. En valeurs annuelles, les résultats des huit années de mesures de MES, entre 1968 et 2004, montrent que depuis 1973 les mesures sont réalisées au cours des années de faible hydraulicité (tableau 1). Les déficits sont très variables, compris entre 8 % en 2003 et 73 % en 2004.

Les concentrations moyennes annuelles de MES sont comparées aux modules annuels (figure 3). Les droites représentent les tendances de chaque série de données. En dépit des irrégularités interannuelles, les concentrations et les débits ont évolué de façon inverse. Les débits sont passés de 8 m³/s à la fin des années 1960 à 3 m³/s au début des années 2000, alors que les concentrations ont évolué de 1 050 mg/L, en 1968 et 1969, à pratiquement 2 500 mg/L entre 2002 et 2004.

Par ailleurs, les quantités de matières transportées (concentration × débit) annuellement ne suivent pas la tendance des concentrations (figure 4) ou des écoulements et restent globalement constantes. Parfois, les flux sont même supérieurs à ceux mesurés en période plus humide. Ainsi, lors des années 1986 (module égal à 5 m³/s) et 2002 (module égal à 2,7 m³/s, de moitié inférieur à celui de

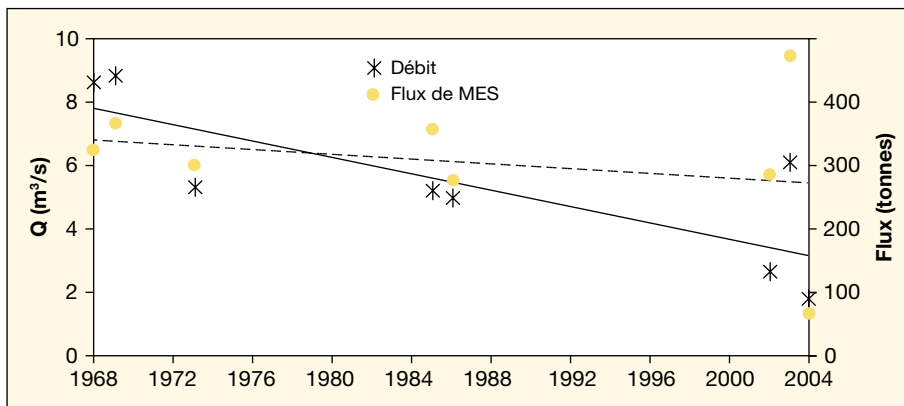


Figure 4. Évolution des débits et des flux de MES annuels sur le bassin-versant du Mayo-Tsanaga à Bogo.

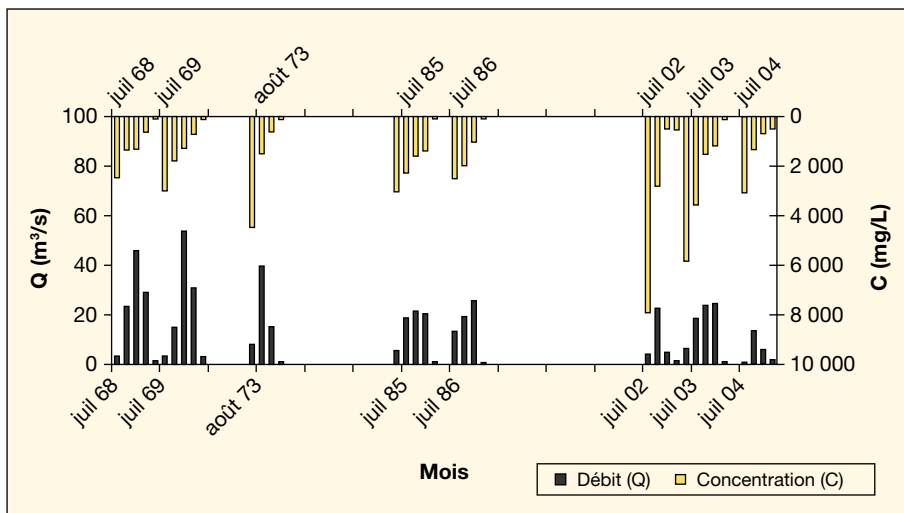


Figure 5. Évolution des débits et des concentrations moyennes mensuelles sur le bassin-versant de Mayo-Tsanaga à Bogo.

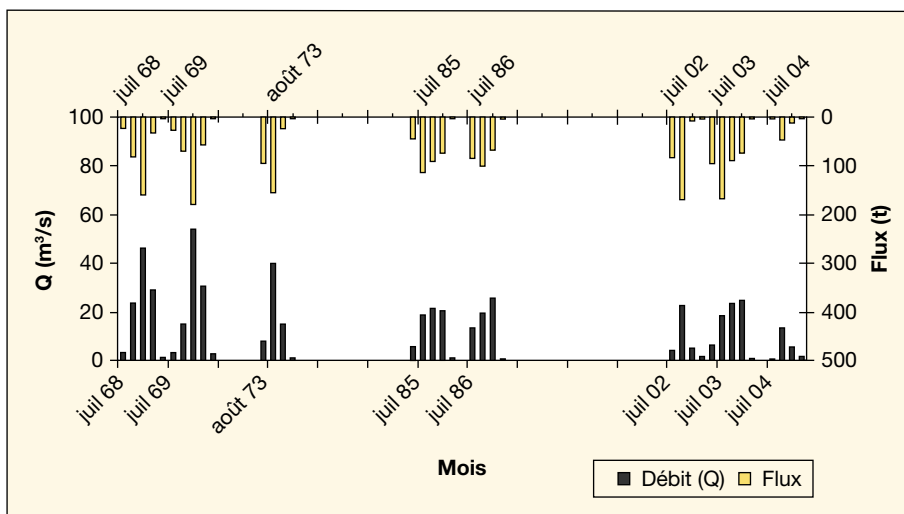


Figure 6. Évolution des débits et des flux de MES mensuels sur le bassin-versant du Mayo-Tsanaga à Bogo.

1986), la même quantité de MES (environ 250×10^3 tonnes) a été transportée par le fleuve. En 2003, le flux de MES a atteint 425×10^3 tonnes, alors qu'il n'était que de 300×10^3 tonnes en 1968 et 1969 pour des modules respectifs de 6,1 et $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les tendances sont les mêmes pour les débits et les concentrations mensuels. Il semble que les concentrations des mois de début de saison des pluies (juin ou juillet) aient augmenté de façon plus importante que les autres mois (figure 5). Cela rejoindrait les observations de Olivry *et al.* [9] à la même station, qui constataient pour la campagne 1973, année sèche, que les concentrations moyennes journalières de début de saison étaient beaucoup plus élevées qu'en 1968 et 1969, années humides. Toutefois, comme on a pu l'observer sur les valeurs annuelles, les quantités transportées mensuellement ont gardé les mêmes ordres de grandeurs (figure 6).

Discussions et conclusion

Depuis le début de la sécheresse, le régime de transport de matières, notamment en suspension, est modifié sur le bassin-versant du Mayo-Tsanaga sous climat tropical sec, à l'Extrême-Nord du Cameroun. Les concentrations ont augmenté considérablement, passant de 1 050 à 2 500 mg/L, alors que les débits ont diminué, parfois de 50 %, concomitamment à la sécheresse pluviométrique. Pourtant les quantités de matières transportées n'ont pas globalement changé du fait de la combinaison de concentrations plus élevées avec des débits plus faibles. Les mêmes observations sont réalisées sur les valeurs mensuelles mais de façon plus significative pour les mois de début de saison des pluies.

L'augmentation des concentrations indiquerait une mise à disposition sur les versants de quantités plus élevées de particules pulvérulentes, suite probablement à la réduction du couvert végétal naturel et à une pression anthropique accrue sur des sols devenus plus fragiles. Pour des modules annuels égaux, les quantités de MES transportées au cours des années récentes sont très élevées. À la fin des années 1960, le flux spécifique moyen de MES calculé sur le bassin-versant de Mayo-Tsanaga était de $210 \text{ t}/\text{km}^2$ par an [8, 5], pour un module moyen de $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Compte tenu de l'augmentation constatée au cours des récentes années, et par extrapolation, il faudrait s'attendre à des flux spécifiques dépassant $400 \text{ t}/\text{km}^2$ par an pour le même débit. ■

Références

1. Liéno G, Mahé G, Olivry JC, *et al.* Régimes des flux de matières solides en suspension au Cameroun : revue et synthèse à l'échelle des principaux écosystèmes ; diversité climatique et actions anthropiques. *Hydrol Sci J Sci Hydrol* 2005 ; 50 : 111-23.
2. Liéno G, Mahé G, Servat E, *et al.* Transport de matières au Cameroun dans un contexte hydro-climatique déficitaire. In : Walling DE, Horwitz AJ, eds. *Sediment Budgets I*. Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil. IAHS Publ, no 29. Wallingford (Great Britain) : IAHS-AIHS. 2005.
3. Liéno G. *Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et le transport des matières en suspension de quelques bassins-versants représentatifs des unités climatiques au Cameroun*. Thèse de doctorat PhD, université de Yaoundé I, 2007.
4. Nouvelot JF. *Hydrologie des Mayos du Nord Cameroun : monographie de la Tsanaga. Rapport terminal*. Yaoundé (Cameroun) : Orstom, 1972 (215 p).
5. Olivry JC. Transports solides en suspension au Cameroun. *Cah Onarest* 1978 ; 1 : 47-60.
6. Naah E. *Hydrologie du Grand Yaéré du Nord Cameroun*. Thèse de doctorat ès-sciences, université de Yaoundé, Cameroun, 1990.
7. Nouvelot JF. Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun. *Cah Orstom Hydrol* 1969 ; 6 : 43-85.
8. Nouvelot JF. Le régime des transports solides en suspension dans divers cours d'eau du Cameroun de 1961 à 1971. *Cah Orstom Hydrol* 1972 ; 9 : 47-74.
9. Olivry JC, Hoorelbecke R, Andiga J. *Quelques mesures complémentaires de transports solides en suspension au Cameroun*. Yaoundé (Cameroun) : Orstom, 1974.
10. Boum JP, Sigha-Nkamdjou L, Ayissi G, Nwalal J. *Études hydrologiques du Ntem aux chutes de Menvé'ele. Rapport de synthèse, campagnes 1980/1983*. Yaoundé : DGRST/IRGM, 1983.
11. Tanyileke G. *Études hydrologiques de la Mentchum à Gulli. Rapport provisoire, multigr.* Yaoundé : IRGM, 1988.
12. Sigha Nkamdjou L, Sighomnou D, Nia P, *et al.* *Qualité de l'eau à certains sites du Lom, du Pangar et de la Sanaga. Rapport de synthèse*. Yaoundé : IRGM, 1998.
13. Sigha-Nkamdjou L. *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). Travaux et documents microfichés 111. Paris : Orstom, 1974.
14. Ndam Ngoupayou JR. *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 de doctorat, université Pierre-et-Marie-Curie, Paris-VI, France, 1997.