

LES TRANSFERTS DE MATIERES EN ZONE TROPICALE HUMIDE : EXEMPLE DE QUELQUES BASSINS VERSANTS DU CENTRE ET DU SUD CAMEROUN

**Jean-Loup BOEGLIN (1), Jean-Jacques BRAUN (1,2),
Jules-Rémy NDAM (3)**

(1) IRD, BP 1857 Yaoundé (Cameroun), e-mail : jboeglin@camnet.cm, fax : (237).20.18.54.

(2) Laboratoire des Mécanismes de Transferts en Géologie, CNRS/Univ. Paul Sabatier,
Toulouse (France)

(3) Département des Sciences de la Terre, BP 817, Université de Yaoundé I (Cameroun)

Résumé

Dans le cadre d'une étude sur la dynamique du milieu tropical humide, ont été quantifiés, par le biais de la composition des eaux, les transferts de matières sur 4 bassins versants du Centre et du Sud Cameroun ; il s'agit des bassins de la Sanaga amont et du Mbam, de celui du Nyong amont et du petit bassin versant expérimental du Mengong à Nsimi.

Bien que les conditions climatiques (pluviométries entre 1600 et 1700 mm/an) et pédologiques (sols de type ferrallitique) soient comparables, on met en évidence des écarts importants aussi bien sur les flux dissous (cations et anions majeurs, silice, COD) que particuliers (MES et leur fraction en COP) à l'exutoire de ces 4 bassins.

Pour les matières minérales dissoutes, la forte variabilité des flux spécifiques (de 5 à 30 t/km²/an) est essentiellement imputée à des différences de lithologie (granitoïdes ou volcanites basiques). Dans le cas des MES, les contrastes très marqués de flux (de 5 à 100 t/km²/an) sont à mettre en relation avec les 3 facteurs suivants : la morphologie (plateau / reliefs volcaniques), la végétation (forêt / savane), et l'anthropisation (localement, forte densité de population et agriculture intensive).

A noter par ailleurs que les flux de COD exportés sont nettement plus élevés pour les bassins forestiers, où l'abondance de matière organique influe sur la dynamique des transferts. A l'échelle des bassins considérés, on a estimé des taux moyens compris entre 3 et 12 mm/1000 ans pour l'altération chimique, entre 3 et 60 mm/1000 ans pour l'érosion mécanique, dans les conditions actuelles.

Mots clés : transferts de matières, érosion, chimie des eaux, bassins versants, zone tropicale humide, Cameroun

Abstract

This study on the humid tropical area allowed to quantify the matter transfers on 4 fluvial basins in the central and southern Cameroon (Sanaga and Mbam, Nyong and Mengong) ; these results have been obtained from water composition variations.

Although climatic conditions (annual rainfall between 1600 and 1700 mm) and soil type (generally lateritic) are comparable, important deviations can be observed on suspended fluxes (TSS, and their POC fraction) and on dissolved fluxes (major cations and anions, silica, DOC) at the outlet of these 4 catchments.

For mineral dissolved species, the high variability of specific flux (between 5 and 30 t/km²/yr) is mainly imputed to lithology (granitoids, basic volcanic rocks). For particular matter, the very contrasted flux values (between 5 and 100 t/km²/yr) are related to the 3 following factors : geomorphology (plateau, volcanic relief), vegetation type (humid forest, savannah) and human activity (locally high demographic pressure and intensive agriculture).

The DOC exported fluxes are clearly higher for forest basins, where organic matter abundance influences the transfer dynamic. On the previous catchments, mean ratios have been estimated for chemical weathering (between 3 and 12 mm/1000 yr) and for physical erosion (between 3 and 60 mm/1000 yr), under present conditions.

Keywords : solid and dissolved transfers, erosion, weathering, hydrochemistry, catchments, humid tropical area, Cameroon

Introduction

L'étude des mécanismes et des bilans de matière à l'échelle des unités bien circonscrites que sont les bassins versants a donné lieu à de nombreux travaux au cours des deux dernières décennies, ce qui reflète bien les préoccupations actuelles d'une meilleure connaissance de notre environnement. Cependant, si on dispose d'une abondante bibliographie sur le milieu tempéré (Amérique du Nord, Europe), force est de reconnaître que les données relatives au domaine tropical –notamment en zone humide- sont beaucoup plus rares. Il est vrai que, dans ces zones, les problèmes de pollution et de préservation du milieu naturel se posent aujourd'hui avec moins d'acuité que dans les pays tempérés, généralement plus fortement industrialisés ; toutefois, il faut prendre conscience qu'à long terme de telles questions ne devront plus être considérées à l'échelle régionale, mais globale.

La démarche adoptée ici pour l'étude de quelques bassins du Cameroun central (Sanaga, Mbam) et méridional (Nyong, Mengong), tous quatre représentatifs du domaine tropical humide, consiste à coupler les deux volets suivants : l'hydrologie, avec la mesure du volume de précipitations et des écoulements d'une part, et l'hydrogéochimie, avec l'analyse de la composition de ces eaux d'autre part ; dans la dynamique du milieu, l'eau n'est pas seulement un vecteur, mais aussi un réactif.

Certes, pour décrypter des mécanismes complexes et établir des bilans de matières (dissoutes et particulaires, minérales et organiques), ce sont les différents paramètres du milieu qui doivent être pris en compte ; ainsi, l'influence de la géomorphologie, de la lithologie, des sols, de la végétation, ou de l'anthropisation ne peut-elle être négligée. Ces études ont été réalisées dans le cadre des programmes PROSE (INSU/ CNRS/ ORSTOM) et DYLAT (ORSTOM), entre 1994 et 1998.

Zones d'étude

Les bassins et les stations dont il sera question par la suite sont reportés sur la carte de situation de la figure 1. On a récapitulé leurs principales caractéristiques (superficie, pluviométrie et débit moyens annuels, pente) dans le tableau I. Dans tous les cas, on se trouve en domaine tropical humide, avec des pluviométries moyennes annuelles de l'ordre de 1600 à 1700 mm ; on distingue 4 saisons : une grande saison sèche, de décembre à mars, et une petite saison sèche en juillet-août, cette dernière intercalée entre les 2 saisons des pluies. Les sols sont généralement de nature latéritique.

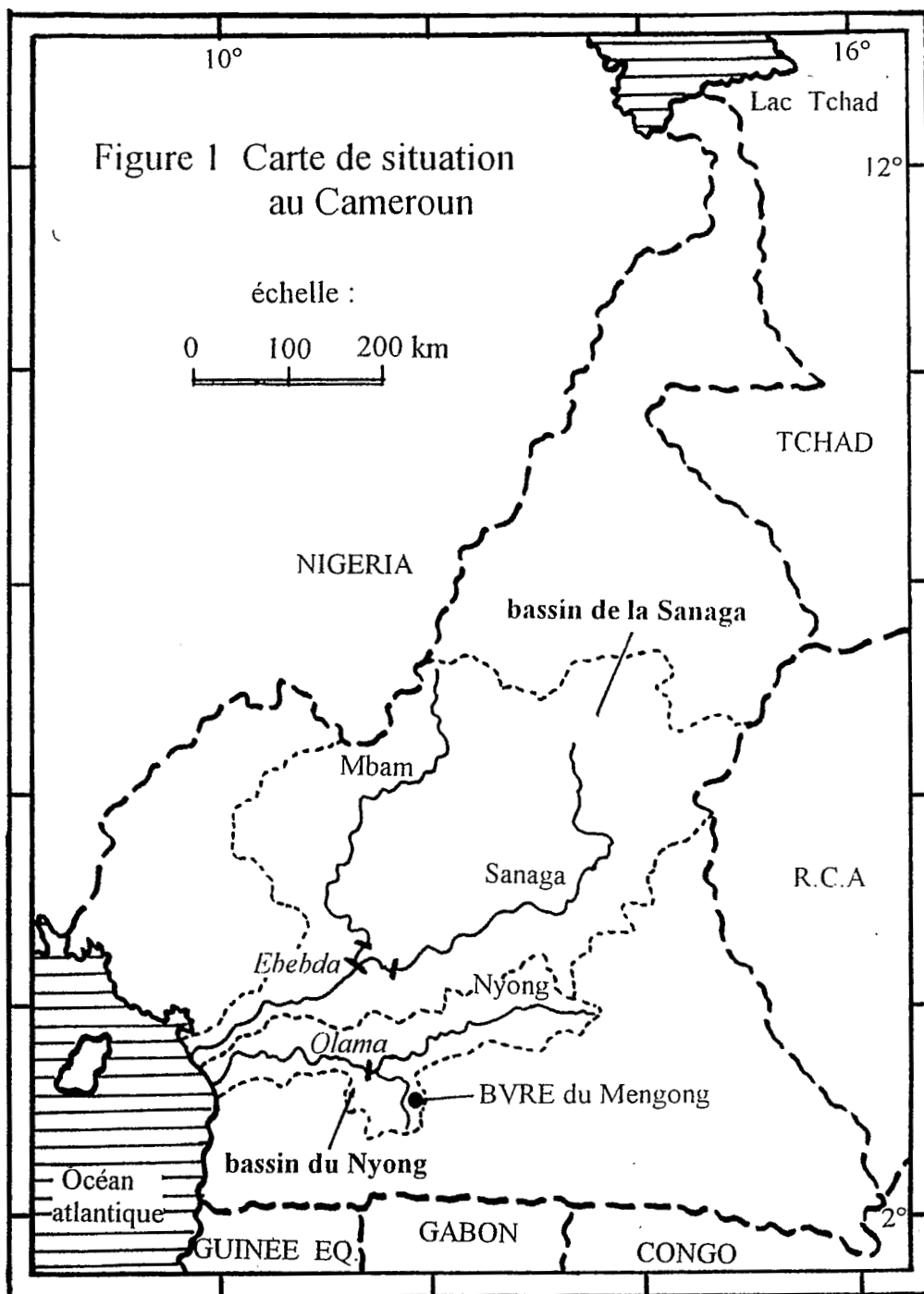


Tableau I. Caractéristiques des bassins étudiés

bassin	exutoire	superficie e km ²	période	pluvio mm/an	drainage mm/an	Ke %	pente (*) %
Mengong	Nsimi	0,6	1994/96	1693	310	18,3	~1
Nyong	Olama	18.510	1951/96	1563#	374#	23,9#	0,02
Sanaga	Nachtigal	76.000	1951/96	1618#	478#	29,5#	0,10
Mbam	Goura	42.300	1951/96	1758#	570#	32,4#	0,31

(*) il s'agit de la pente moyenne du cours d'eau principal (hors affluents)

(#) données météorologiques et hydrologiques estimées (NDAM et al., 1998)

coefficient d'écoulement Ke (en %) = 100*drainage/pluvio

Pour la Sanaga, les données météorologiques et hydrologiques correspondent au bassin en amont de la station de Nachtigal ; par contre, les eaux analysées proviennent de prélèvements effectués une quarantaine de kilomètres en aval, à Ebebda. Le bassin supérieur de la Sanaga draine les reliefs de l'Adamaoua, où cette rivière prend sa source vers 1150 mètres d'altitude. Sa pente moyenne est faible (1 ‰), malgré les quelques décrochements que présente son cours. A part les zones à forêt montagnarde généralement dégradée, le bassin est le domaine de la savane avec toutefois de nombreux îlots de forêt galerie. Le substratum est constitué majoritairement par les granites panafricains, accessoirement par des laves basaltiques et des dépôts grés-conglomératiques. Les sols, essentiellement ferrallitiques, sont du type orthique remanié dans la partie nord du bassin. Dans son ensemble, la région, où est pratiquée une agriculture vivrière extensive, s'avère assez faiblement peuplée.

Les eaux du Mbam, principal affluent en rive droite de la Sanaga, ont été prélevées à Ebebda ; les mesures de pluviosité et de débit sont relatives au bassin en amont de Goura station située à environ 20 kilomètres plus haut que la confluence d'Ebebda. Par rapport au précédent, le bassin du Mbam présente les particularités suivantes : des reliefs volcaniques très marqués –source vers 1850 mètres d'altitude- induisant des pentes fortes ; une proportion

plus élevée de roches éruptives (basaltes, trachytes, andésites), 80 % de la superficie du bassin restant toutefois représentés par les granitoïdes ; sur les plateaux de l'Ouest, une densité de population exceptionnelle (de l'ordre de 150 habitants/km²) et une mise en culture poussée de tous les sols disponibles.

Le bassin du Nyong en amont de la station d'Olama couvre une partie du Plateau sud-camerounais ; il s'agit d'un ensemble occupé par la forêt secondaire, faiblement anthropisé, à morphologie mollement ondulée (entre 600 et 800 mètres d'altitude) comportant, surtout vers l'Est, de larges dépressions marécageuses. Le substratum, constitué par les formations métamorphiques précambriennes de la bordure du craton du Congo et de la chaîne panafricaine, ont une composition de granitoïdes ; les sols sont de type ferrallitique, et généralement hydromorphes dans les bas-fonds. Le bassin versant expérimental du ruisseau Mengong à l'exutoire de Nsimi (60 ha sous forêt) est emboîté dans le bassin du Nyong.

Méthodes d'étude

A l'exception du bassin versant expérimental de Nsimi où nous avons mené les suivis quotidiens des pluies et des débits (pluviomètres, échelle limnimétrique calée à l'aide de jaugeages), les données météorologiques et hydrologiques utilisées ici proviennent d'estimations à partir de séries de mesures incomplètes et de chroniques antérieures (OLIVRY, 1986 ; NDAM *et al.*, 1998). Les périodes sur lesquelles ont été effectuées les analyses sont août 94 à juillet 96 pour le Nyong et le Mengong, août 95 à juillet 96 pour la Sanaga et le Mbam.

Pour chacun de nos prélèvements mensuels, sont effectuées, sur le terrain puis au laboratoire, les mesures physico-chimiques classiques (température, pH, conductivité).

Les matières en suspension (MES) totales sont récupérées par filtration à 0,45 µm ; leur concentration est déterminée en rapportant le poids de la matière séchée au volume de liquide filtré. Le dosage du carbone organique particulaire (COP) se fait en mesurant, à l'aide d'une cellule infra-rouge, la quantité de CO₂ dégagée suite à une combustion à 1100°C ; on utilise la matière recueillie sur un filtre en microfibrilles de verre, décarbonatée par une solution de HCl.

Les éléments majeurs, cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) et anions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) sont analysés par chromatographie ionique HPLC ; la silice dissoute est dosée par colorimétrie au molybdate et à l'acide ascorbique.

L'alcalinité est déterminée par titrimétrie à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique jusqu'à pH 3, puis en recourant à la méthode graphique de Gran.

Pour le carbone organique dissous (COD), la méthode consiste à oxyder le carbone organique après une acidification permettant d'éliminer le carbone « minéral », à le soumettre à une irradiation aux ultra-violets, puis à doser CO_2 ainsi formé par un détecteur infra-rouge sans dispersion. On considère généralement que le carbone organique dosé (qu'il soit dissous ou particulaire) correspond à 50 % de la masse de matière organique dans l'échantillon.

Résultats

L'ensemble des résultats analytiques sur les 4 bassins se trouve dans NDAM (1997), VIERS *et al.* (1997), BRAUN *et al.* (2000).

Un fait d'observation mérite d'être relevé : alors qu'après filtration les eaux de la Sanaga et du Mbam sont claires, celles du Nyong et du Mengong conservent leur coloration « thé » caractéristique ; toutefois, les eaux de sources et de forages provenant de cette dernière zone apparaissent parfaitement limpides.

Les valeurs moyennes du pH et de la conductivité électrique ramenée à 25°C sont respectivement de 5,8 et 24 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Olama, de 5,5 et 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Nsimi, de 7,0 et 27 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la Sanaga, de 7,0 et 36 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le Mbam à Ebebda.

Tableau II. Flux spécifiques dissous et particulaire sur les différents bassins

bassin	exutoire	période	MD	dont SiO_2	COD	MES	dont COP
			dissous ($\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$)			particulaire ($\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$)	
Mengong	Nsimi	1994/96	4,0	2,4	5,7	3,1	0,98*
Nyong	Olama	1994/96	5,8	3,4	6,6	6,3	0,90*
Sanaga	Ebebda	1995/96	15,6	6,2	1,5	18,2	1,0
Mbam	Ebebda	1995/96	27,8	10,9	1,5	98,0	4,3

MD = total matières minérales dissoutes, comprenant notamment la silice

MES = total matières en suspensions, minérales et organiques

COD = carbone organique dissous; COP = carbone organique particulaire

(*) = détermination du COP uniquement sur le cycle 1995/96

Pour ce qui est des MES et des fractions en COP qu'elles contiennent, les flux spécifiques (en $\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$) sont très variables pour les différents cours d'eau, comme le montre le tableau II : 6,3 dont 14 % de COP dans le Nyong, 3,1 dont 32 % de COP dans le Mengong, 18,2 dont 8 % dans la Sanaga, 98,0 dont 4 % dans le Mbam. Dans tous les cas, il semble, comme cela est fréquemment décrit, que les plus fortes concentrations en MES précèdent de plusieurs semaines les périodes de débits maximums.

Les valeurs déterminées pour l'alcalinité sur les échantillons provenant de la Sanaga et du Mbam permettent d'obtenir une balance des charges assez bien équilibrée ; elles peuvent être assimilées aux concentrations de bicarbonates en solution. Par contre, avec les alcalinités

obtenues sur les eaux du Nyong ou du Mengong, on arrive à des déficits anioniques considérables, respectivement de 40 % et 60 % en moyenne sur l'ensemble de la période d'étude.

Concernant les matières minérales dissoutes correspondant aux cations et anions majeurs ainsi qu'à la silice, les flux spécifiques exportés, en t/km²/an, sont les suivants (voir tableau II) : 4,0 dont 60 % de silice pour le Nyong, 5,8 dont 59 % de silice pour le Mengong, 15,6 dont 40 % de silice pour la Sanaga, 27,8 dont 39 % de silice pour le Mbam. Malgré de fortes variations de leurs concentrations, l'ordre d'abondance relative des différentes espèces minérales dissoutes reste le même sur les 4 bassins : SiO₂ >> Ca²⁺ > Na⁺ > K⁺ > Mg²⁺ > Cl⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻.

Les flux spécifiques de COD, exprimés en t/km²/an, vont en décroissant du Nyong (6,6) au Mengong (5,7) jusqu'à la Sanaga et au Mbam (1,5 pour ces 2 derniers), comme indiqué dans le tableau II.

Discussion

Les variations considérables de flux particulaire mises en évidence à l'exutoire des 4 bassins faisant l'objet de notre étude, et qui reflètent des taux d'érosion mécanique extrêmement différents, doivent être imputés à 3 facteurs principaux : la morphologie, la végétation, l'anthropisation. Dans le cas de bassins forestiers à pentes très faibles, comme celui du Nyong amont, le décapage est réduit, avec une exportation moyenne de 6,3 t/km²/an ; à titre de comparaison, les valeurs obtenues précédemment sur d'autres cours d'eau du Plateau sud-camerounais (in SIGHA, 1994) sont du même ordre de grandeur, quoiqu'un peu plus élevées : 10 t/km²/an pour le Ntem, 11,5 t/km²/an pour la Ngoko, 7,7 et 9,1 t/km²/an suivant les stations pour la Kadéi. Sur la Sanaga amont, une morphologie plus contrastée et surtout une végétation moins couvrante permettant une érosion mécanique un peu plus forte, le flux des MES est de 18,2 t/km²/an. C'est toutefois sur le bassin du Mbam que le relief d'une part (avec une pente moyenne de la rivière proche de 5 ‰ sur les 160 premiers km de son cours), et la couverture du sol d'autre part (végétation de type savane, mais avec un espace soumis à une exploitation agricole intense en pays bamiléké et bamoun), concourent à favoriser une érosion mécanique très importante, dont témoigne le chiffre de 98 t/km²/an pour les exportations en MES.

A noter par ailleurs que le pourcentage de COP est nettement plus élevé en domaine forestier, vers le Sud (>14 %) que dans les zones septentrionales à savane dominante (<8 %). A titre indicatif, voici les flux particuliers de 3 fleuves souvent pris comme références en zone tropicale : 43 t/km²/an pour le Niger, 13 t/km²/an pour le Congo, 152 t/km²/an pour l'Amazone (in PROBST, 1992). La valeur considérable correspondant au dernier exemple traduit bien les effets du relief (chaîne andine), mais surtout de l'anthropisation (déforestation anarchique). Dans le cas des bassins du Sud-Cameroun, une estimation de la vitesse de l'érosion mécanique, dans l'hypothèse où la densité de l'horizon superficiel du sol est de 1,5, fournit les valeurs suivantes : 1,4 mm/1000 ans pour le Mengong, 3,6 mm/1000 ans pour le Nyong, 12 mm/1000 ans pour la Sanaga, 63 mm/1000 ans pour le Mbam ; ces chiffres, déterminés à l'échelle de bassins, ne peuvent et ne doivent pas être comparés à ceux qui pourraient être mesurés sur des parcelles situées dans la même zone.

Les flux des matières minérales dissoutes varient dans une gamme plus étroite que ceux des matières en suspension : les valeurs varient de 4,0 à 5,8 à 15,6 et à 27,8 t/km²/an quand on passe du Mengong au Nyong à la Sanaga puis au Mbam. Les flux nettement plus élevés exportés par ces 2 derniers cours d'eau peuvent être expliqués par la présence de roches du

type basalte décrites dans la partie amont de leur bassin, reconnues comme beaucoup plus altérables que les granitoïdes prédominants par ailleurs. Cet effet de la lithologie se retrouve également dans les proportions de silice dissoute, plus faible (40 %) dans le cas d'un substratum comprenant des roches basiques que comportant uniquement des roches acides (SiO_2 représente environ 60 % de la fraction dissoute pour le Nyong et le Mengong). Pour comparaison, le flux minéral dissous est de 18 t/km²/an pour la Ngoko, au Sud-Cameroun (SIGHA, 1994) ; sur les bassins du Niger, du Congo et de l'Amazone il est respectivement de 9, 10 et 49 t/km²/an (in PROBST, 1992).

Pour ce qui est du COD, on remarquera les flux très élevés pour les bassins forestiers : alors que les exportations en carbone organique y sont supérieures à celles des matières minérales dissoutes, elles restent inférieures à 10 % sur les bassins de la Sanaga et du Mbam couverts par la savane. Le fort déficit anionique signalé dans les eaux à coloration « thé clair » caractéristique pourrait être expliqué par l'existence de charges négatives liées à certains radicaux organiques.

Le caractère plus acide des eaux de forêt (pH = 5,6 à 5,8) doit certainement être attribué à l'abondance de matière organique ; en effet, pour les eaux de savane, les pH mesurés sont voisins de 7. Une détermination précise de la vitesse de l'altération chimique à la base des profils latéritiques nécessiterait la prise en compte de la composition des différentes roches du substratum ainsi que des apports atmosphériques. A partir des données incomplètes disponibles, nous avons toutefois pu estimer des taux de l'ordre de 3 mm/1000 ans sur les bassins du Mengong et du Nyong, de 7 mm/1000 ans pour le bassin de la Sanaga, et de 12 mm/1000 ans pour le bassin du Mbam ; il s'agit là de valeurs moyennes sur l'ensemble de chaque bassin, et correspondant aux conditions climatiques et hydrologiques actuelles.

Conclusion

Dans cette étude sur l'environnement tropical humide, on a tenté de quantifier les transferts de matières en suivant, sur un cycle hydrologique complet, les variations de composition des eaux à l'exutoire de quelques bassins versants. Ont ainsi été déterminés les concentrations puis les flux de matières en suspension et en solution, aussi bien minérales qu'organiques, sur 2 bassins du Sud-Cameroun (Nyong, Mengong) et 2 bassins du Centre-Cameroun (Sanaga, Mbam). Bien que ces 4 bassins soient soumis à des pluviométries comparables (1600 à 1700 mm/an), on montre ici que d'autres composantes du milieu naturel peuvent influencer de façon significative sur le bilan.

Pour les matières en suspension, les effets cumulés d'un relief marqué, d'une végétation peu couvrante et d'une anthropisation intense provoquent une très forte exportation ; c'est ce qui est observé dans le cas du Mbam, avec un flux proche de 100 t/km²/an, alors que sur les bassins forestiers du plateau sud-camerounais à morphologie mollement ondulée et à faible densité démographique, le flux est inférieur à 10 t/km²/an.

Pour les matières minérales dissoutes, des flux plus élevés –avec toutefois une proportion en silice moindre– sont mis en évidence sur les bassins comportant des basaltes, roches plus basiques moins résistantes à l'altération chimique.

Concernant le carbone organique, on montre qu'il est beaucoup plus abondant, tant en solution qu'en suspension, dans les eaux –d'ailleurs nettement plus acides– drainant les bassins forestiers ; les flux de carbone organique dissous y sont du même ordre de grandeur que ceux des espèces minérales dissoutes.

Pour une meilleure compréhension du fonctionnement de ce milieu tropical humide, il est envisagé d'orienter les travaux à venir vers la chimie des apports atmosphériques, la dynamique et la composition des eaux de nappes, ainsi que les effets de la matière organique sur le piégeage des éléments.

Bibliographie sommaire

- BRAUN J.J., NDAM NGOUPAYOU J.R., VIERS J., DUPRE B., BEDIMO BEDIMO J.P., FREYDIER R., ROBAIN H. et MEYBECK M. (2000) Physical and chemical weathering in a humid tropical catchment : site of Nsimi, South Cameroon. *Geoch. Cosmoch. Acta* (sous presse).
- NDAM NGOUPAYOU J.R. (1997) Bilans hydrogéochemiques sous forêt tropicale humide en Afrique : du bassin expérimental de Nsimi-Zoétéélé aux réseaux hydrographiques du Nyong et de la Sanaga (Sud-Cameroun). *Thèse Univ. P. et M. Curie, Paris VI*, 214 p., 2 annexes.
- NDAM J., BRAUN J.J., MEYBECK M. et BEDIMO BEDIMO J.P. (1998) Réactualisation des données hydroclimatologiques des bassins fluviaux de la Sanaga et du Nyong (Sud-Cameroun). *Géosciences au Cameroun*, 1, Vicat J.P. et Bilong P. Edit., p. 51-64.
- OLIVRY J.C. (1986) Fleuves et rivières du Cameroun. *Monogr. Hydrol. ORSTOM*, 9, 733 p., 2 cartes h.t.
- PROBST J.L. (1992) Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. *Sci. Géol. Strasbourg, Mém*, 94, 161 p.
- SIGHA-NKAMDJOU L. (1994) Fonctionnement hydrochimique d'un écosystème forestier de l'Afrique centrale : la Ngoko à Mouloundou (Sud-Est du Cameroun). *Trav. Doc. microéd. ORSTOM*, 111, 378 p.
- VIERS J., DUPRE B., POLVE M., SCHOTT J., DANDURAND J.L., BRAUN J.J. (1997) Chemical weathering in the drainage basin of a tropical watershed (Nsimi-Zoetele site, Cameroon) : comparison between organic poor and organic rich waters. *Chem. Geol.*, 140, p. 181-206.



Pour citer cet article / How to cite this article

Boeglin, J. L.; Braun, J. J.; Ndam, J. R. - Les transferts de matières en zone tropicale humide : exemple de quelques bassins versants du centre et du sud Cameroun, pp. 39-46, Bulletin du RESEAU EROSION n° 20, 2000.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr