

Fonctionnement des écosystèmes tropicaux humides : influence sur les ressources hydriques et la qualité des eaux

Exemple du bassin fluvial du Nyong (Sud Cameroun)

Jean-Jacques BRAUN¹, Jean-Pierre BEDIMO BEDIMO², Henri ROBAIN¹, Brunot NYECK³, Jules NDAM², Jérôme VIERS⁴, Bernard DUPRE⁴, Gwénaëlle OLIVIE-LAUQUET⁵, Quentin YENE ATANGANA³, Antoine TAKEU²

1. ORSTOM BP1857 Yaoundé, Cameroun
2. IRGM-CRH BP4110 Yaoundé, Cameroun
3. Dépt. des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I
4. OMP CNRS UMR 5563, 38 rue des 36 Ponts, 31062 Toulouse, France
5. UPMC, Lab. Minéralogie et Cristallographie, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 5

Résumé. Cette note présente la démarche que l'ORSTOM, ses partenaires camerounais de l'IRGM-CRH et de l'Université de Yaoundé et ses partenaires français des Universités de Paris 6 et de Toulouse ont entrepris depuis 1993 pour étudier le fonctionnement des écosystèmes tropicaux humides du Sud Cameroun. Les résultats sont en cours d'acquisition et les interprétations présentées ici ne sont que préliminaires.

Depuis décembre 1993, le bassin versant représentatif expérimental du Mengong à Nsimi (Sud-Cameroun) a été choisi comme observatoire naturel des cycles hydrobiogéochimiques en Afrique Centrale dans le cadre des programmes PEGI (INSU-CNRS-ORSTOM) et DYLAT (ORSTOM-Partenaires Sud). Ce bassin appartient au réseau hydrographique du fleuve Nyong qui draine une région essentiellement recouverte par la forêt tropicale humide. Nos actions de recherche se basent sur la connaissance approfondie du milieu naturel par une approche pluridisciplinaire en Géosciences. Ces actions se déroulent sur plusieurs années de suivi. L'objectif principal est d'aboutir à des modèles de fonctionnement pédologique, hydrologique et géochimique. Ces recherches se situent en amont des préoccupations directes des usagers mais elles sont un préalable indispensable à toutes les études de développement. Elles sont primordiales pour comprendre le fonctionnement du milieu naturel encore peu perturbé par les activités humaines (agroforesterie, urbanisation,...).

Les processus de fractionnement des éléments chimiques entre le sol et le système hydrodynamique sont appréhendés en menant, en parallèle, une étude structurale, pétrologique, minéralogique et géochimique de la couverture pédologique et une étude détaillée des solutions (phases liquide, colloïdale et particulaire) qui percolent au travers de celle-ci (zone non saturée) et alimentent les nappes phréatiques et les axes de drainage. Ainsi, le fonctionnement du système ouvert constitué par la couverture pédologique du petit bassin versant choisi pourra être compris si le bilan soustractif et accumulatif de la partie résiduelle que constitue le sol et le bilan de la phase fluide sont déterminés conjointement. L'étude hydrologique permet de comprendre et d'acquies les différents termes du bilan hydrologique (pluies, écoulement, évapotranspiration, infiltration, recharge de la zone saturée et vidange des nappes). L'étude l'hydrochimique, quant à elle, vise à quantifier les flux d'entrées (pluies, pluviolossivats, dissolution de la roche mère) et de sorties dans les nappes phréatiques et dans les eaux de surface du bassin. Le transfert des éléments de l'unité fonctionnelle de Nsimi jusqu'au fleuve Nyong sera appréhendé par la mesure des variations des charges solides et en solution au cours du temps.

PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE ET INTÉRÊT SCIENTIFIQUE

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B* 15612 Ex : 1

Les couvertures d'altération latéritique des régions tropicales humides et les grands fleuves qui les drainent jouent un rôle majeur dans l'équilibre physico-chimique de la Terre. Le bilan hydrologique mené à l'échelle du globe montre que près de la moitié de l'écoulement continental, avant de rejoindre les océans, s'effectue au travers de ces couvertures d'altération qui représentent 30% des terres émergées (Tardy, 1993 ;

Géosciences au Cameroun, VICAT J.P. et BILONG P. éd., collect. GEOCAM, 1/1998, Press. Univ. Yaoundé I, p. 23-40

Nahon, 1991). Les produits de l'érosion chimique et mécanique ainsi que les flux de carbone qui alimentent les océans proviennent pour moitié des bassins versants des grands fleuves tropicaux (Amazone, Congo, Orénoque, Parana, Gange, Yang-tsen-kiang, ...) (Meybeck, 1987, 1988, 1994). En outre, les couvertures d'altération latéritique représentent un enjeu économique considérable. D'une part, elles renferment des réserves importantes de matériaux et de métaux. D'autre part, elles constituent le support fragile des forêts et des cultures tropicales. Ces forêts ont une productivité primaire et une phytomasse parmi les plus élevées et la biodiversité est la plus forte de la planète. Leur aptitude au recyclage biogéochimique des éléments nutritifs est remarquable. Elles interviennent dans l'équilibre du climat en régulant, entre autre, le flux de CO₂. Or, ces espaces subissent une déforestation alarmante, perdant de 1 à 2% de leur étendue chaque année. Ils se trouvent actuellement au centre des débats sur l'environnement entre les pays en voie de développement et les états industrialisés (Fearnside, 1996).

Toutefois, l'état des connaissances sur les écosystèmes forestiers tropicaux humides reste parcellaire en ce qui concerne la structuration des couvertures de sols, les cycles biohydrogéochimiques et les mécanismes d'altération-érosion prépondérants. Pour mieux comprendre l'évolution de ces écosystèmes complexes, utiliser durablement leurs ressources et prévoir les risques d'un déséquilibre du milieu suite à leur exploitation excessive, il est indispensable d'entreprendre une étude minutieuse de l'état et de la dynamique de leur couverture de sols ainsi que du fonctionnement biohydrogéochimique.

A cette fin, deux approches complémentaires sont envisageables. Il s'agit, pour la première, de considérer les processus d'altération-érosion et les bilans à l'échelle de petits bassins versants expérimentaux et, pour la seconde, d'étudier les grands bassins fluviaux en intégrant les connaissances acquises sur les unités fonctionnelles élémentaires.

A l'échelle locale, l'étude de bassins versants élémentaires permet d'obtenir des informations directes et précises sur les contributions respectives des composantes atmosphériques, géologiques, hydrologiques, topographiques, biologiques et anthropiques (Likens *et al.*, 1977 ; Lasaga *et al.*, 1994 ; Bluth et Kump, 1994 ; Benedetti *et al.*, 1994 ; Stallard, 1995 ; Braun *et al.*, 1997). Plusieurs bassins versants élémentaires en zone tropicale humide ont fait l'objet d'études spécifiques. Les principales vocations de ces études étaient d'évaluer les ressources en eau (Nouvelot, 1993) et l'effet de l'activité humaine (déforestation, mise en culture) (Bruijnzeel, 1990). Peu d'études ont toutefois été entreprises sur des bassins versants expérimentaux tentant d'intégrer les transferts de matière soluble, colloïdale et particulaire et de définir les processus physico-chimiques d'altération-érosion prépondérants actuels et passés (Benedetti *et al.*, 1994 ; Eyrolle, 1994 ; Lucas *et al.*, 1993 ; Sigha *et al.*, 1995 ; Merino *et al.*, 1993 ; Drever et Vance, 1994 ; Drever et Clow, 1995). A l'échelle du système complexe sol-eau-végétation-atmosphère, l'eau ainsi que l'activité biologique sont les principaux agents de l'altération et du façonnement des modelés. Si la minéralogie des environnements latéritiques est assez peu diversifiée (kaolinite, gibbsite, hématite, goéthite, quartz), les sources, la nature et les mécanismes de transfert des éléments majeurs et en trace qui les composent restent mal connus. En particulier, le rôle de la matière organique n'a jamais été clairement élucidé. Les bilans géochimiques sont largement déterminés par les processus de partage des éléments entre les solutions et les phases solides (Lasaga, 1991). Les interfaces minéral-eau jouent un rôle fondamental dans le contrôle des cycles géochimiques : la plupart des processus (dissolution, oxydoréduction, ab- et adsorption, échange d'ions,...) implique un transfert d'éléments chimiques entre des fluides et des phases solides. Les minéraux néoformés peuvent être les témoins de ces processus (Muller *et al.*, 1996). De plus, les matériaux polyphasés et très finement divisés de la surface de la Terre présentent une très grande surface spécifique et une forte réactivité de surface. Les phases minérales et organiques des eaux naturelles et plus spécifiquement les fractions colloïdales sont caractérisées par des cinétiques de dissolution-cristallisation-agrégation très rapides. Elles jouent un rôle majeur dans le contrôle de la mobilité des éléments dans les eaux naturelles qu'il est nécessaire de mieux comprendre (Buffle *et al.*, 1992).

A l'échelle régionale, l'étude des grands bassins fluviaux prend en compte le transfert des matériaux par les cours d'eau qui drainent les couvertures d'altération des bassins versants. Elle permet d'avoir une estimation des apports globaux à l'océan (Meybeck, 1994). De nombreux travaux ont été réalisés dans le domaine intertropical humide, en particulier sur les bassins de l'Amazone (Stallard, 1988 ; Guyot, 1992 ; Guyot *et*

Wasson, 1994 ; Molinier *et al.*, 1995) et du Congo-Zaïre (Négrel *et al.*, 1993 ; Seyler *et al.*, 1995 ; Sigha, 1993 ; Dupré *et al.*, 1996 ; Gaillardet *et al.*, 1995). A cette échelle, l'eau est considérée comme vecteur pour le transport des éléments minéraux et organiques, sous forme colloïdale ou dissoute, par suspension ou par charriage de fond.

OBJECTIFS

Nos actions de recherche se basent sur la connaissance approfondie du milieu naturel par une approche pluridisciplinaire en Géosciences. Ces actions se déroulent sur plusieurs années de suivi. L'objectif principal est d'aboutir à des modèles de fonctionnement pédologique, hydrologique et géochimique. Ces recherches se situent en amont des préoccupations directes des usagers mais elles sont un préalable indispensable à toutes les études de développement. Elles sont primordiales pour comprendre le fonctionnement du milieu naturel encore peu perturbé par les activités humaines (agroforesterie, urbanisation,...).

Au Cameroun, environ 60% de la superficie totale du pays sont recouverts par des sols latéritiques. C'est un lieu privilégié pour mener de telles études couplant les approches sur petit bassin versant expérimental et sur grand bassin fluvial. Depuis 1993, le bassin versant représentatif du Mengong à Nsimi (Sud-Cameroun) a été choisi comme observatoire naturel des cycles hydrobiogéochimiques en Afrique Centrale dans le cadre des programmes PEGI (INSU-CNRS-ORSTOM) et DYLAT (ORSTOM-Partenaires Sud). Ce bassin appartient au réseau hydrographique du fleuve Nyong qui draine une région essentiellement recouverte par la forêt tropicale humide (Figure 1).

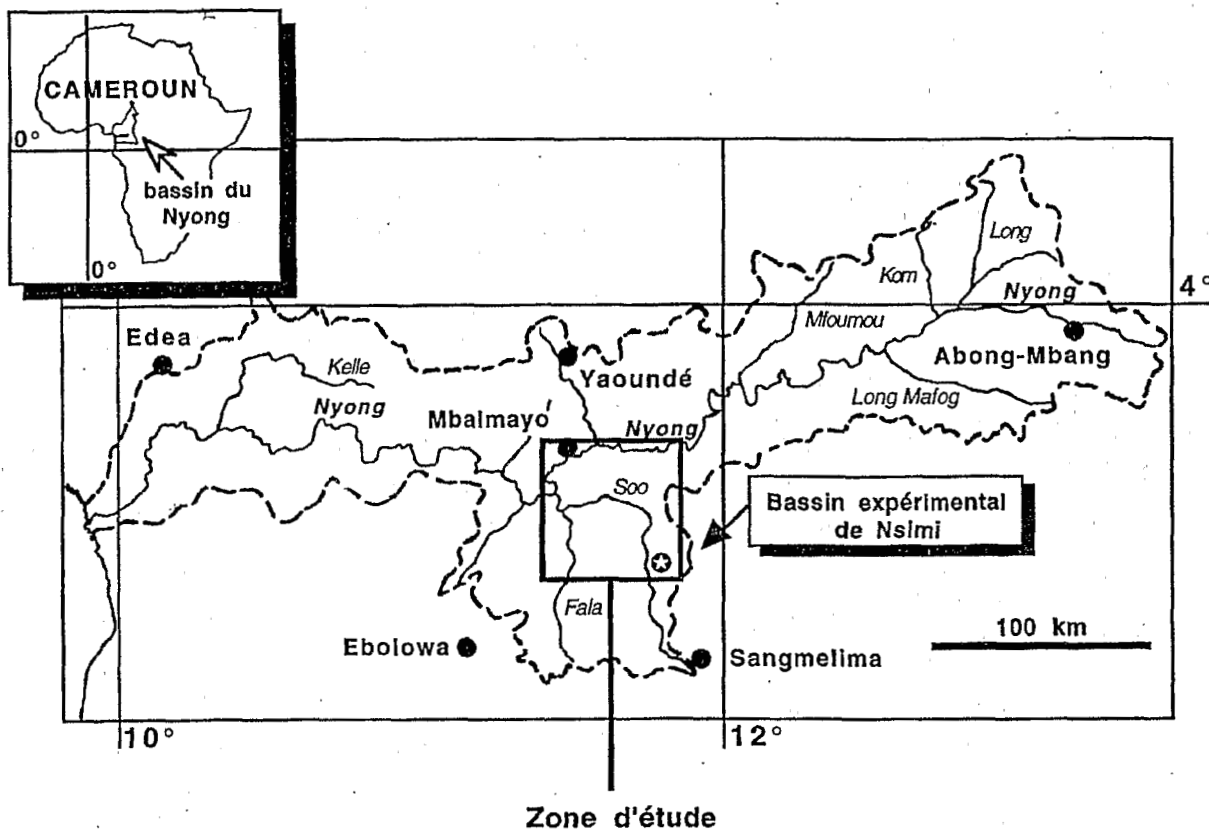


Figure 1. Situation géographique du bassin hydrographique du Nyong et de la zone d'étude.

Les processus de fractionnement des éléments chimiques entre le sol et le système hydrodynamique sont appréhendés en menant, en parallèle, une étude structurale, pétrologique, minéralogique et géochimique de la couverture pédologique et une étude détaillée des solutions (phases liquide, colloïdale et particulaire) qui percolent au travers de celle-ci (zone non saturée) et alimentent les nappes phréatiques et les axes de drainage.

Ainsi, le fonctionnement du système ouvert constitué par la couverture pédologique du petit bassin versant choisi pourra être compris si le bilan soustractif et accumulatif de la partie résiduelle que constitue le sol et le bilan de la phase fluide sont déterminés conjointement. L'étude hydrologique permet de comprendre et d'acquies les différents termes du bilan hydrologique (pluies, écoulement, évapotranspiration, infiltration, recharge de la zone saturée et vidange des nappes). L'étude l'hydrochimique, quant à elle, vise à quantifier les flux d'entrées (pluies, pluviolessivats, dissolution de la roche mère) et de sorties dans les nappes phréatiques et dans les eaux de surface du bassin. Le transfert des éléments de l'unité fonctionnelle de Nsimi jusqu'au fleuve Nyong sera appréhendé par la mesure des variations des charges solides et en solution au cours du temps.

LE BASSIN DU NYONG : MILIEU PHYSIQUE ET HUMAIN

Orohydrographie

D'une superficie totale de 27800 km², le bassin fluvial du Nyong se situe principalement au sein du plateau du Sud Cameroun, la plus vaste unité de relief du pays (Santoir et Bopda, 1995). D'un point de vue géomorphologique, le bassin draine deux surfaces :

- une surface de plateau dont l'altitude est comprise entre 600 et 900 m. Cette surface, appelée "surface d'érosion africaine I", est présente dans toute l'Afrique Centrale. Elle est datée de la fin de l'Eocène. Le bassin du Nyong présente quatre grands types de paysage. Le premier se situe à proximité de la bordure Ouest du plateau. Il est constitué par des massifs montagneux d'altitude comprises entre 1000 et 1300 m. Le second type est une importante zone inondable dans le haut bassin versant du Nyong entre Mbalmayo et Abong-Mbang. Le troisième est représenté par un modelé avec des interfluvies étendus de plusieurs kilomètres de forme très émoussée. Le quatrième enfin est constitué par un modelé avec des interfluvies relativement peu étendus de l'ordre du kilomètre en forme de "demi-orange" caractéristique des régions à climat tropical humide et équatorial ;

- une surface côtière à l'Ouest dont l'altitude est inférieure à 350 m, Le Nyong passe de l'une à l'autre de ces surfaces par une série de chutes et de rapides à Dehane.

Climat

Le bassin du Nyong est soumis à un climat équatorial à quatre saisons d'inégales importances (climat Guinéen) avec deux maxima et deux minima bien marqués. Le second maximum est toujours le plus élevé. Il correspond à la grande saison des pluies, de septembre à novembre. Octobre est le mois le plus pluvieux. La saison sèche la plus longue va de décembre à mars. La petite saison des pluies s'étend d'avril à juin et la petite saison sèche de juillet à août. La hauteur moyenne annuelle des précipitations diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'océan. D'une valeur de 2150 mm (± 322 mm) à Eséka, elle est de 1393 mm (± 185 mm) à Ayos. A Yaoundé, station de référence où l'on dispose de la plus longue chronique d'observations, la hauteur moyenne sur 49 années est de 1598 mm (± 218 mm) (Olivry, 1986).

Caractéristiques hydrologiques du Nyong

Le bassin fluvial du Nyong présente deux zones de régimes hydrologiques différents. La charnière est la région de Mbalmayo (Olivry, 1986). Le bassin amont est caractérisé par de très faibles pentes qui entretiennent de vastes zones marécageuses tels que celle qui s'étend de Mbalmayo à Abong-Mbang. Les précipitations y sont moins abondantes que dans le bassin aval qui en outre présente des pentes plus fortes. La rupture de pente entre le plateau et la zone côtière provoque les rapides et les chutes observées au niveau de Dehane. Le régime hydrologique du fleuve est calqué sur celui des précipitations. Notre intérêt porte sur le bassin amont du Nyong. A la station hydrologique de Mbalmayo, les débits ont été observés sur la période 1950-1993. Le maximum de l'écoulement moyen mensuel est enregistré en novembre (340 m³.s⁻¹), et le

minimum de février à mars ($50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Le module interannuel est de $148 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit un débit spécifique de $10,9 \text{ l/s.km}^2$. Pour l'ensemble des stations hydrométriques installées sur le Nyong, le débit spécifique est compris entre 10 et 12 l/s.km^2 excepté à Dehane où le débit spécifique est de 16 l/s.km^2 du fait de l'influence océanique et du relief marqué.

Géologie et couverture de sols

Le substratum géologique est constitué essentiellement de roches métamorphiques et plutoniques appartenant au Précambrien (Maurizot *et al.*, 1986). Deux zones structurales occupent le plateau du Centre-Sud Cameroun où coulent le Nyong. En premier lieu, il s'agit de la zone septentrionale du craton du Congo (groupe du Ntem) constituée par des charnockites, des gneiss et divers granitoïdes recoupés par des filons doléritiques. Cette zone est datée entre 2700 et 3000 Ma. En second lieu, la zone mobile (chaîne panafricaine), datée à 600 Ma, occupe une grande partie du bassin. Granitisation et migmatisation constituent les phénomènes géologiques majeurs de cette période.

Les travaux décrivant les principaux traits des couvertures d'altération du Sud Cameroun ont essentiellement été menés par les pédologues camerounais de l'IRA et de l'Université de Yaoundé et les pédologues français de l'ORSTOM depuis cinquante ans. Parmi les travaux les plus récents (Bilong, 1988 ; Bilong *et al.* 1988 ; Robain *et al.*, 1996), l'accent est mis sur l'extrême complexité des sols d'Afrique Centrale. Ils se développent depuis des millions d'années, pour certains, et ont subi d'importantes variations paléoclimatiques qui sont encore imparfaitement connues. Ces sols ont donc un caractère fortement polycyclique. Ils présentent, en partie, des matériaux relictuels dont la genèse ne peut pas être expliquée par les conditions climatiques actuelles (Muller *et al.*, 1995).

Les trois principaux types de sols rencontrés dans le bassin du Nyong sont les suivants :

— les sols peu évolués sur les reliefs montagneux à forte pente constitués par un horizon humifère peu épais surmontant directement le substratum rocheux,

— les sols hydromorphes représentés par deux types distincts : les sols hydromorphes organiques et les sols hydromorphes minéraux. Les premiers se localisent à proximité du lit des principales rivières et dans certains bas fonds étendus tandis que les seconds occupent les petits thalwegs entre les collines,

— les sols latéritiques, les plus représentés, occupent pratiquement 80% de la surface de la zone forestière humide. Ils sont développés sur des roches très diverses dont la majeure partie des caractéristiques a été effacée lors de processus pédogénétiques extrêmement intenses. Cinq grands types de matériaux peuvent être distingués au sein des formations latéritiques. Leur extension volumique relative dépend grandement de la position topographique. De la base vers le sommet des profils, la succession des matériaux est la suivante :

- des matériaux d'altération (saprolite) préservent en partie la texture et la structure de la roche parentale,
- des matériaux argileux bariolés (argiles tachetées) dont l'organisation est d'origine pédologique,
- des matériaux ferrugineux indurés qui présentent des indurations soit discontinues (matériaux gravillonnaires), soit quasi-continues (matériaux cuirassés ou carapaçonnés). Il s'agit de matériaux extrêmement complexes résultant de processus successifs de redistribution des oxydes de fer et des minéraux argileux. Les sommets de collines présentent généralement des cuirasses complexes plus ou moins démantelées encadrées par des matériaux gravillonnaires. En bas de versant, des carapaces ferrugineuses se différencient dans la zone de battement de nappe. Vers le haut des versants, ces carapaces sont discordantes sur les séquences verticales de différenciation, vers le bas fond, elles se démantèlent dans les zones réductrices engorgées pendant la majeure partie de l'année,
- des matériaux argileux homogènes de couleur vive soit rouge, soit jaune, composés pour la majeure partie de kaolinite associée à des oxy-hydroxydes et oxydes de fer dont l'abondance relative influe directement sur la coloration (hématite pour le rouge et goéthite pour le jaune),
- des matériaux humifères peu épais qui surmontent les horizons minéraux.

Couvert végétal

Le bassin du Nyong appartient au domaine de la forêt dense sempervirente. Cette forêt dense passe au Nord, sur le bassin de la Sanaga, à la savane périforestière. L'écologie de la forêt camerounaise dépend essentiellement des influences climatiques, altitudinales et anthropiques. Les influences édaphiques (substratum, sols, topographie) ne jouent qu'un rôle secondaire (Letouzey, 1986). Trois types de forêts peuvent être distingués sur le bassin du Nyong :

- la forêt dense humide sempervirente de basse et moyenne altitude ou forêt biafréenne. Le terme "rainforest" utilisé par les anglo-saxons pour la désigner traduit le caractère très arrosé des régions où cette forêt se développe. Elle couvre la surface côtière du plateau influencée par l'océan Atlantique. *Lophira alata*, appelé "Azobé", bois rouge et dur, en est la grande essence. Actuellement, cette forêt fait l'objet d'un intense défrichement pour la création des palmeraies, de plantations d'hévéa et de cacaoyer,

- la forêt congolaise, forêt sempervirente encore peuplée de grandes espèces primaires. Méliacées, Sapotacées abondent avec *Baillonella toxisperma* notamment. La faible exploitation de cette forêt, liée à son éloignement y maintient encore par endroits une densité d'environ 20 m³/ha,

- la forêt semi-décidue prolonge la forêt congolaise vers le Nord où elle entre en contact avec la savane. Vers le Sud, elle semble progresser aux dépens de deux premières. L'abondance des Sterculiacées caractérise cette forêt. Les raphias sont communément observés dans les bas fonds. Les plaines marécageuses voient le développement de prairies aquatiques peuplées d'*Echinocloa stagnina* et *pyramidalis*. Le Parassolier abonde dans toutes les zones antérieurement défrichées.

Environnement humain

Sur le bassin du Nyong, la densité de la population est faible excepté dans la région de Yaoundé et ses environs. Cette densité élevée dans et autour de la capitale entraîne une intense activité humaine sur le milieu périurbain. Le secteur primaire domine largement malgré la présence de la ville de Yaoundé et ses nombreuses administrations. L'agriculture reste la base de l'économie régionale. Le secteur traditionnel concerne aussi bien les productions vivrières que les cultures de rente. Les principales cultures vivrières sont les tubercules (manioc, macabo, patate douce et ignames), les bananes plantain, l'arachide, le concombre, les cultures maraîchères, les mangues et l'ananas. Les cultures commerciales sont dominées par le cacao et le café. L'activité minière est réduite. Elle intéresse le titane à Akonolinga et l'exploitation de blocs et graviers en carrière. L'exploitation forestière reste la principale industrie de la région.

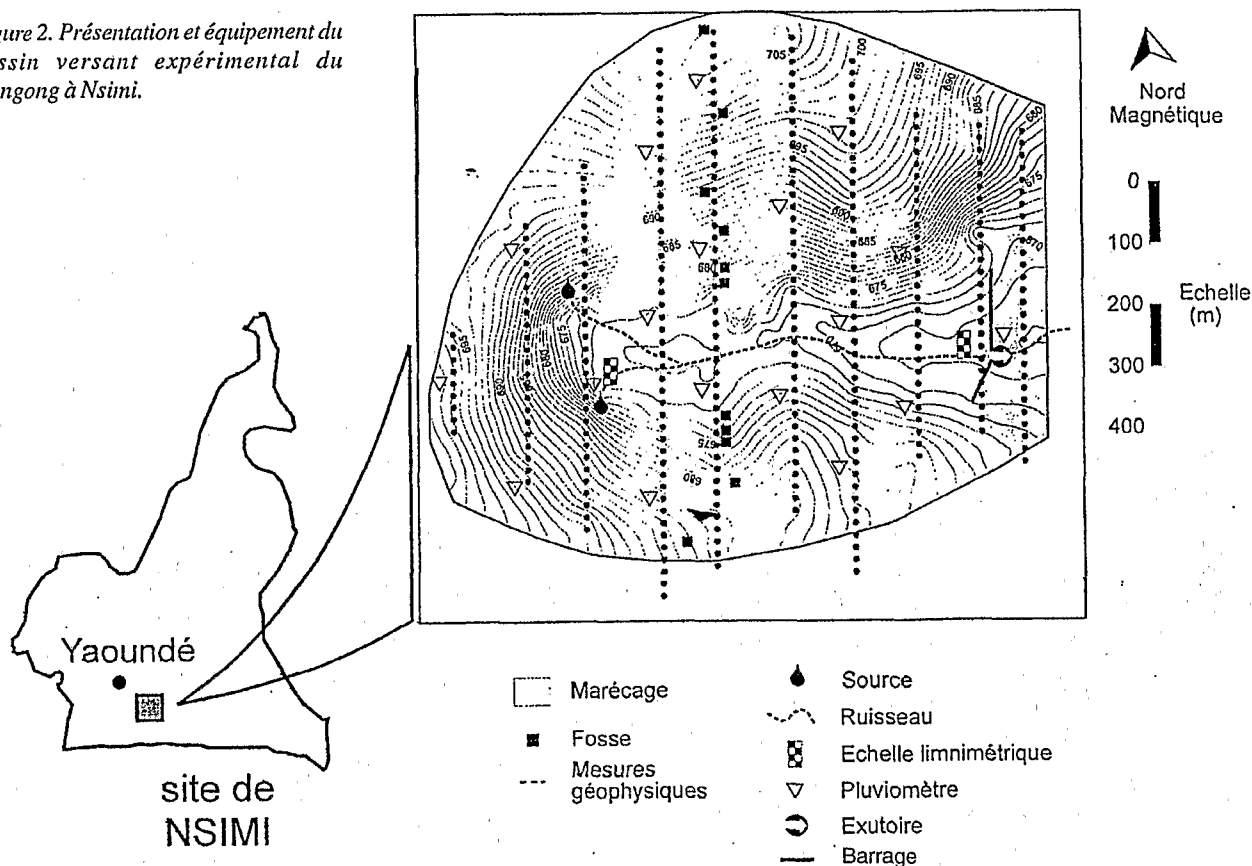
L'homme modifie et bouleverse les paysages végétaux. La fragilité et la fertilité limitée de la plupart des sols latéritiques obligent à renouveler très fréquemment les terrains utilisés pour les cultures annuelles. Les arbres, écorcés à la base, meurent sur pied et sont brûlés de manière à dégager un champ pour le maïs, le haricot, le manioc ou l'arachide. De nombreux arbres sont coupés pour la construction de cases, le bois de chauffe, ou bien l'exploitation industrielle. Des zones plus vastes peuvent être défrichées pour des cultures arborées ou arbustives pérennes (palmiers à huile, cacaoyers, caféiers, etc...). Ceci entraîne une déforestation importante et une augmentation des surfaces piétinées qui rend les sols plus imperméables. Ceci provoque une modification des régimes hydro-pluviométriques et hydrochimiques. Lorsque la brèche faite dans la forêt n'est pas trop importante et les dégâts au sol irrémédiables, la forêt peut recoloniser les zones qu'elle a momentanément perdues. La population et l'état prennent de plus en plus conscience des méfaits à long terme d'une destruction incontrôlée des forêts. Toutefois par le passé, la forêt a continuellement subi des dégradations par la hache et le feu. Ce que nous voyons actuellement et appelons abusivement "forêt primaire" est une végétation modifiée par l'activité humaine depuis des siècles (Letouzey, 1986). De plus, cette formation forestière a subi d'importants reculs au profit de la savane lors de périodes climatiques plus sèches, vers 7000 et 3500 BP. notamment. La tendance actuelle est une avancée de la forêt aux dépens de la savane (Lanfranchi et Schwartz, 1990). Il faut préciser enfin que dans toutes ces zones forestières du Sud Cameroun, les engrais agricoles sont rarement utilisés du fait de leur coût élevé pour les agriculteurs. Les techniques de jachère tournante sont plus régulièrement pratiquées.

ETUDE D'UN SYSTEME SOL/EAU PEU ANTHROPISE : LE PETIT BASSIN VERSANT EXPERIMENTAL DU MENGONG A NSIMI

Présentation du bassin versant expérimental

D'une superficie de 60 ha, ce bassin peu anthropisé est situé à 120 km au Sud de Yaoundé en zone forestière tropicale humide près du village de Nsimi dont les coordonnées géographiques sont 3°10'N et 11°58'E. Représentatif des environnements rencontrés sur le plateau du Sud Cameroun, il est constitué de collines basses (altitude 700 m) à versants convexo-concaves (modèle en demi-orange) couverts par la forêt sempervirente plus ou moins secondarisée par les cultures vivrières. Ces collines sont séparées par une zone marécageuse couvrant environ 20% de la superficie totale (Figure 2).

Figure 2. Présentation et équipement du bassin versant expérimental du Mengong à Nsimi.



Cette dernière est caractérisée par un couvert végétal hydrophile comportant palmiers raphia et graminées aquatiques. Le mode culturale est l'agriculture sur brûlis suivi par la jachère. De courte durée, celle-ci reste arbustive. Elle permet la reconquête plus ou moins lente par un type de forêt dont la flore diffère du type primitif. Le défrichement de la grande forêt par abattage et brûlis représente la plus grave perturbation imposée au milieu naturel. Le climat est du type guinéen. La pluviosité moyenne annuelle varie entre 1600 et 2000 mm et les températures moyennes mensuelles varient peu autour de 23°C. La couverture d'altération des versants est constituée par des sols latéritiques très épais développés sur un granite à hypersthène (charnockite) d'âge libérien (2800Ma) appartenant à la bordure Nord du Craton du Congo. Le bassin expérimental est drainé par le Mengong, ruisseau comptant parmi les nombreux affluents d'ordre 1 en rive droite du Soo, le tributaire le plus important du fleuve Nyong. Les différents compartiments fonctionnels identifiés du bassin de Nsimi sont équipés pour un suivi hydrologique, hydrochimique et géophysique (layons entretenus, fosses pédologiques atteignant le plus souvent la nappe, sondages profonds, sources et exutoire aménagés, réseaux de pluviomètres et de piézomètres, limnigraphes, pluviographes, préleveurs de pluies et de pluviolessivats) (Figure 3).

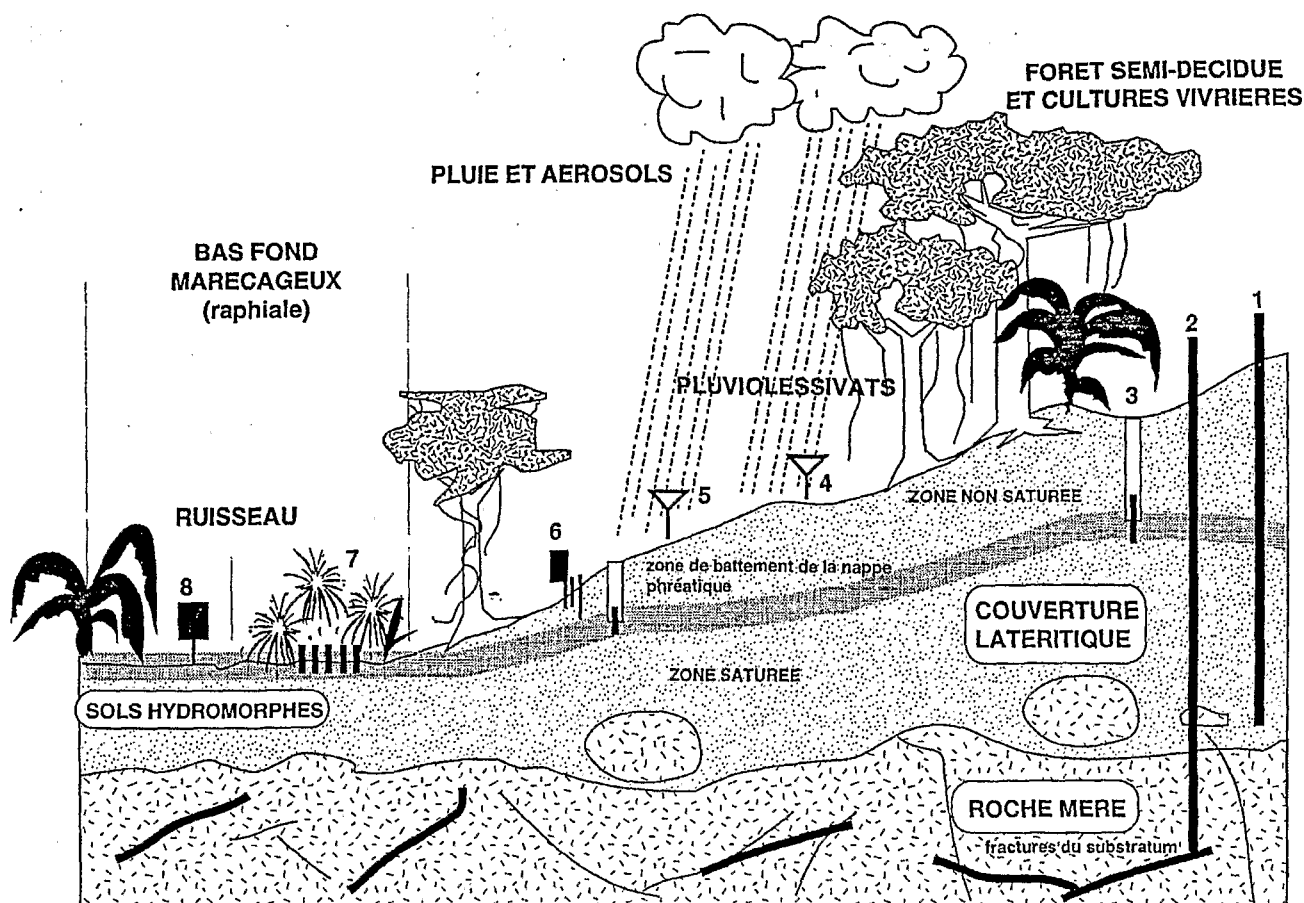


Figure 3. Schéma détaillé des installations expérimentales du bassin versant de Nsimi.

1. Piézomètre permettant les prélèvements dans la nappe contenue dans le saprolite ; 2. Piézomètre permettant les prélèvements dans les fractures du substratum granitique ; 3. Fosse pédologique atteignant le toit de la nappe ; 4. Collecteurs sous couvert (aérosols, pluie et pluviollessivats) ; 5. Collecteur hors couvert (aérosols et pluie directe), 6. Station tensiométrique permettant la mesure des flux hydriques de la zone non saturée (sous et hors couvert) ; 7. Réseau de piézomètres dans la zone marécageuse ; 8. Limnigraphe (source et exutoire).

La démarche méthodologique

Approche couplée pédologique et géophysique

Onze fosses matérialisées sur le transect L6 et des sondages à la tarière sur toute la surface du bassin versant ont permis d'établir la composition et la structure de la partie superficielle de la couverture d'altération située au dessus de la nappe phréatique et/ou des matériaux indurés par les oxy-hydroxydes de fer. L'accès aux matériaux plus profonds et à la structuration du substratum rocheux n'a été possible qu'en utilisant les outils de la géophysique appliquée. En outre, l'approche géophysique vise à la spatialisation des volumes des différents ensembles pédologiques. Parmi les diverses méthodes testées (magnétiques, électriques, sismiques, VLF, TDEM, GPR), celles qui semblent les mieux adaptées ici appartiennent à la famille des méthodes électriques. Ce sont en effet les seules qui permettent d'obtenir un détail satisfaisant pour la discrimination de tous les principaux matériaux pédologiques et pour l'établissement de leur géométrie tridimensionnelle à l'échelle du bassin versant. En outre, le suivi mensuel du paramètre résistivité du sol permet d'estimer les variations de la quantité d'eau contenue dans les différents compartiments de la couverture d'altération ainsi que les variations de concentration en électrolytes dans les zones saturées (Robain *et al*, 1995). Trois dispositifs ont été utilisés: des sondages Schlumberger pour connaître l'épaisseur des différents matériaux pédologiques à la verticale de chaque point de mesure (maille: 40 x 100 m), des tomographies multi-électrodes afin d'affiner la géométrie des interfaces entre les points d'observation directe des sols (fosses et sondages), des traînées Wenner avec des écartements inter-électrodes de 10, 20 et 40 m réalisés mensuellement pendant près de deux ans pour comparer le bilan hydrologique du bassin versant avec le fonctionnement hydrique de la couverture d'altération.

Approche hydrologique

La pluie constitue le principal apport atmosphérique dans les écosystèmes tropicaux humides. L'eau qui arrive au sol emprunte des chemins divers jusqu'au réseau hydrographique, selon les conditions intrinsèques de l'unité spatiale qui la recueille. L'intérêt d'une approche hydrologique est de pouvoir déterminer les divers transits de l'eau et les temps de résidence, paramètres importants afin d'établir le bilan des éléments chimiques dans le système. Le fonctionnement hydrodynamique d'un système repose sur les relations qui lient (1) la pluie et le débit à l'exutoire du bassin versant et (2) la pluie et la variation du niveau piézométrique. Ces relations sont considérées à des échelles spatiales et temporelles données. Elle permettent de déterminer un bilan hydrologique qui fait la balance entre les cycles des différents facteurs climatiques, hydrométriques et piézométriques. Le bassin versant du Mengong est l'échelle spatiale élémentaire pour l'observation des relations eau-sol-eau. Le fonctionnement hydrodynamique a été appréhendé aux pas de temps journalier, décadaire, mensuel et annuel.

Approche géochimique

Peu de bilans géochimiques complets (cycle des cations et anions majeurs, du carbone organique, des éléments traces...) ont été établis sur des bassins versants sous forêt tropicale humide en Afrique Centrale. Couplée à l'approche hydrologique, l'étude géochimique sur le bassin de Nsimi vise à quantifier (1) les apports en éléments majeurs et en trace sous forme soluble, colloïdale et particulaire par les pluies et les pluviollessivats et (2) les sorties dans les nappes phréatiques et les eaux de surface (marigots et rivières). Un autre volet consiste à la reconnaissance des zones de départ et d'accumulation des éléments au sein de la couverture d'altération le long de la toposéquence L6. Sur celle-ci, plusieurs profils de sols caractéristiques ont été analysés tous les 50 cm de la base jusqu'au sommet. Les calculs de bilan de masse renseigneront sur la répartition spatiale des éléments au sein de la couverture d'altération. Couplé à l'analyse des eaux, nous aurons une vision plus globale des transferts. En outre, les flux particuliers ($> 0,45 \mu\text{m}$) sont mesurés à l'exutoire avec un pas de temps d'autant plus serré que les pluies et les crues s'intensifient. La composition chimique des particules est analysée plusieurs fois dans l'année. Les caractéristiques physicochimiques (pH, conductivité, alcalinité, température) et les compositions (ions majeurs et trace, COD, COP, P, N...) des eaux des différents compartiments (pluies, sols, rivières) sont analysées au pas de temps mensuel corrélativement à l'acquisition des paramètres hydrologiques.

Les principaux résultats

Le substratum granitique et la couverture pédologique : organisation complexe à l'échelle de l'unité de modelé

Structuration du substratum granitique

Le socle charnockitique n'affleure que très rarement dans toute la zone d'étude. Il apparaît dans le lit de certains cours d'eau et sur quelques îlots isolés. Généralement, il est masqué par la couverture pédologique des collines et des bas-fond marécageux. D'après les interprétations des photographies aériennes de la région de Nsimi et des études géophysiques, le socle apparaît intensément faillé. La direction majeure des grandes failles régionales est NNW/SSE. De nombreuses rivières soulignent ces accidents majeurs (Soo, Awout par exemple). Le contact entre le substratum et la couverture pédologique (front d'altération) présente des ondulations d'amplitude décamétrique. Le réseau de failles constitue un réservoir de nappe exploité dans toute la région par les projets d'hydraulique villageoise. Atteintes à des profondeurs extrêmement variables (de 15 à plus de 60 m), les failles productives peuvent avoir des débits en pompage considérables (jusqu'à $20 \text{ m}^3/\text{h}$). Souvent, quelques failles subaffleurantes génèrent des résurgences qui alimentent le réseau hydrographique persillé entre les collines. C'est le cas dans l'amphithéâtre de tête de bassin à Nsimi. La structuration du socle a donc une importance capitale dans le fonctionnement hydrique des écosystèmes forestiers de cette région.

Organisation des sols et description des matériaux à l'échelle d'une toposéquence

Deux domaines peuvent être distingués dans la couverture d'altération. Il s'agit des versants où se développent des sols latéritiques rouges-jaunes polycycliques et de la vallée marécageuse occupée par des sols sableux argileux jaunes hydromorphes (Figure 4).

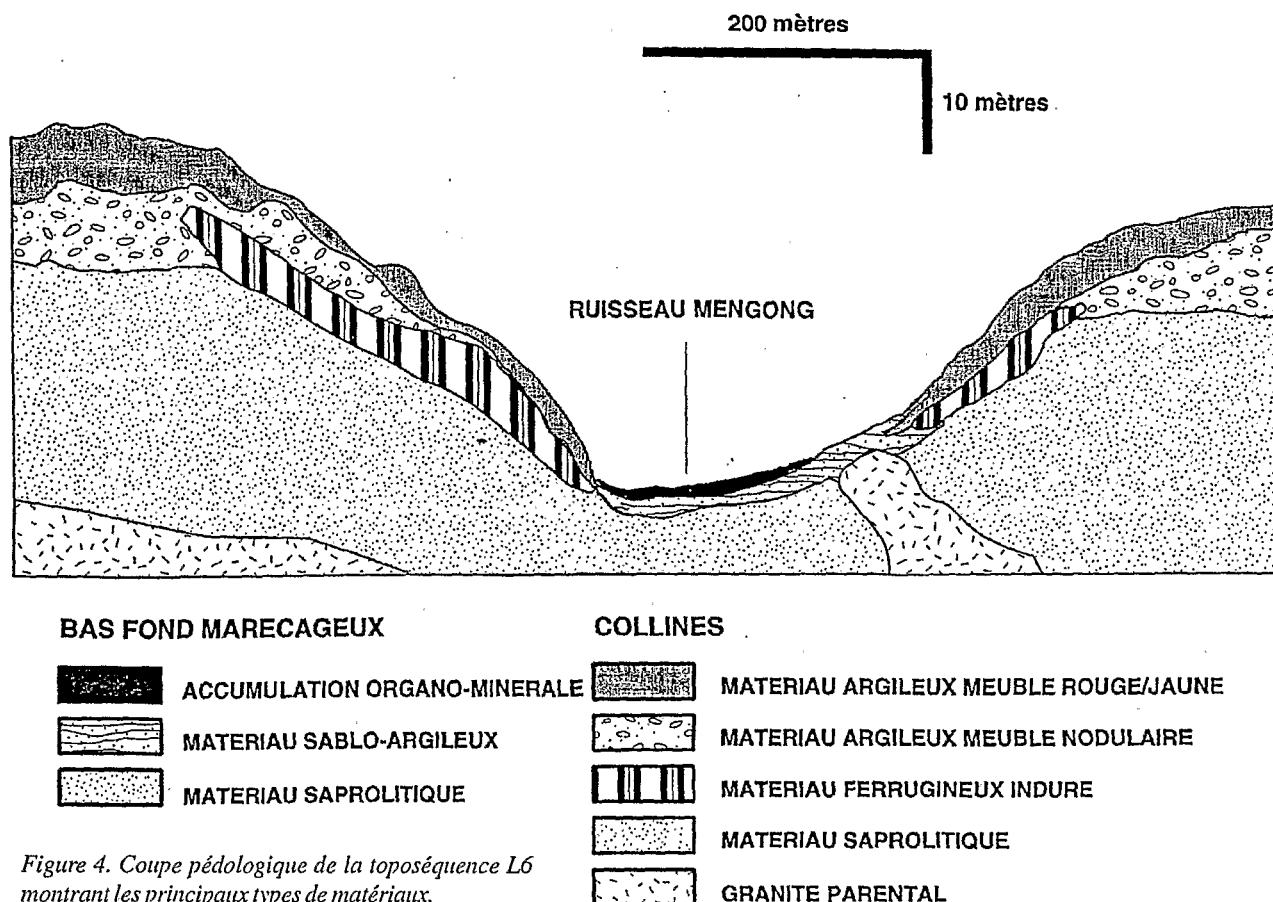


Figure 4. Coupe pédologique de la toposéquence L6 montrant les principaux types de matériaux.

Le système de sol des versants

La couverture latéritique des collines du bassin versant de Nsimi est composée de la façon suivante de bas en haut des profils et jusque dans la zone de battement de la nappe phréatique :

— un matériau sapolitique, dont la profondeur reconnue par sondage est de l'ordre de 40 m en sommet de colline. Dans ce matériau, la texture et la structure du granitoïde parental sont conservées. Les accumulations de fer s'expriment sous forme de taches diffuses qui sont les prémices du tachetage et de la nodulation rencontrés dans les horizons sus-jacents. La présence de la nappe phréatique induit un front d'humidification marqué par la présence de volumes gris se développant aux dépens de phases blanches. Ce matériau apparaît continu le long des versants jusqu'à la limite avec le bas fond marécageux où il est relayé par un matériau blanchi à ségrégations de phases gris verdâtre marquant le relais des phénomènes d'oxydoréduction,

— un matériau argileux bariolé (argiles tachetées) se différencie progressivement au dessus du sapolite. Il est constitué de la juxtaposition de volumes rouges séparés par un réseau jaune à structure anastomosée d'origine pédologique,

— un matériau d'accumulation de fer composé de deux ensembles en position topographique différente :

- en amont, le matériau d'accumulation ferrugineuse est discontinu, composé de blocs de cuirasses décimétriques et de nodules et gravillons centimétriques et millimétriques emballés dans une matrice argilo-sableuse rouge. Ce matériau couvre les 2/3 supérieurs des versants. Très épais au sommet de la séquence, il s'amincit et se termine en chapelet au-dessus de la carapace,

- en aval, le matériau d'accumulation ferrugineuse, appelé carapace, est continu à caractère tacheté et alvéolaire. Il se différencie progressivement aux dépens de l'argile tachetée. Cette carapace apparaît concordante par rapport à la topographie en bas de versant tandis qu'elle est discordante plus haut sur le versant. Elle recoupe et digère alors les matériaux d'accumulation ferrugineuse gravillonnaires. Cette carapace se dégrade dans sa partie supérieure et en aval en isolant des nodules rouges et bruns plus ou moins indurés,

— un matériau meuble argileux recouvre les volumes ferrugineux. Sur l'amont des versants, il présente une couleur rouge-jaune, une texture argileuse et une structure microagrégée. L'espace poral ménagé par cette structure correspond à une capacité de rétention en eau et en air ainsi qu'une conductivité élevées. Ceci est particulièrement favorable à la mise en culture. A l'aval, le matériau a une couleur jaune, une texture sablo-argileuse à sableuse et une structure polyédrique subangulaire. Cette structure peu exprimée ménage un espace poral qui correspond à une capacité de rétention en eau plus faible.

— un matériau humifère très mince se superpose aux ensembles minéraux. Sa texture est sablo-argileuse et sa structure grumeleuse. Il contient des grains de quartz lavés. Il est à noter que l'équilibre entre le couvert forestier et la couverture pédologique (le matériau humifère en particulier) est fragile. La destruction de la forêt par les brûlis qui mettent le sol à nu augmente les risques d'érosion et par conséquent peut diminuer fortement l'épaisseur des matériaux humifères fertiles. De plus l'élévation de la température liée au feu supprime la micro et mésofaune du sol et, par suite, le potentiel de renouvellement du stock de nutriments nécessaires aux cultures. Ceci accentue les risques d'érosion d'autant plus que le relief est vallonné.

Le système de sol du bas-fond marécageux

Dans les bas-fonds marécageux, la couverture pédologique est essentiellement meuble. Elle se compose de la façon suivante du sommet vers le substratum rocheux :

- une fine boue limoneuse brun-noir, saturée d'eau, dont l'épaisseur varie de 10 à 50 cm, présente une structure fondue,
- un matériau sableux gris où siège une nappe superficielle sur une épaisseur d'environ un mètre,
- un matériau argilo-sableux humide gris à taches rouille, représente le plancher de la nappe superficielle,
- un matériau sablo-argileux blanc à gris dont l'épaisseur, estimée par les méthodes géophysiques, peut atteindre une vingtaine de mètre à l'exutoire du bassin. La présence d'une nappe dans ce matériau n'a pas encore été prouvée de façon certaine.

Les conditions d'hydromorphie permanente de la couverture pédologique des bas-fond et la richesse en matière organique prédisposent ceux-ci à la pratique de cultures maraîchères.

Le fonctionnement hydrologique : influence des bas-fonds marécageux et des résurgences

La relation pluie-débit

A l'échelle de l'événement pluvieux, les hydrogrammes de crue montrent généralement (1) une réponse quasi instantanée quelle que soit la période de l'année, humide ou sèche, et (2) un temps de base très long de 12 heures en moyenne. Cette réponse rapide n'est pas due au ruissellement sur les versants, car celui-ci est quasi inexistant du fait du couvert végétal et des horizons supérieurs argileux meubles très poreux. Le débit de pointe de crue est fonction de la quantité moyenne de pluie tombant sur le bassin. La forme de l'hydrogramme est fonction du type de la pluie (Figure 5) . Les événements peuvent se classer en deux types :

- les événements simples où la pluie présente une seule pointe d'intensité et a une durée inférieure à deux heures. Ils génèrent des crues dont les hydrogrammes ont une forme arrondie et une phase de décrue régulière,
- les événements complexes où la pluie, généralement supérieure à 70 mm, présente plusieurs pointes d'intensité et dure plus de deux heures. Les hydrogrammes de ces crues peuvent être décomposés en plusieurs hydrogrammes du premier type.

Le débit de base est soutenu par les apports des sources pérennes alimentées par le réseau de failles du substratum rocheux et ceux des nappes alimentées par la pluie. En somme, le couvert végétal, les horizons superficiels poreux des latérites et la large zone marécageuse régulent l'effet de la pluie sur l'écoulement à l'exutoire du bassin.

A l'échelle de l'année hydrologique, la relation pluie-débit à l'exutoire du bassin est surtout fonction de la répartition temporelle des précipitations. Les pics de l'hydrogramme, qui correspondent aux jours de pluie, sont suivis d'une période de décrue relativement étalée dans le temps, l'écoulement de base étant soutenu par l'apport des résurgences. Cependant, malgré le caractère permanent de cet apport, on observe parfois un débit nul à l'exutoire du bassin à la fin de la grande saison sèche (janvier-février). Ceci est dû à la topographie du bas-fond dont la pente quasi inexistante sur certains biefs favorise l'endoréisme lorsque les pluies ne se succèdent pas assez rapidement (Figure 6). Cette infiltration alimente la nappe superficielle de bas-fond et maintient l'humidité de la zone marécageuse, permettant ainsi, même après une longue période sèche, une réponse rapide aux averses. Au cours de l'année hydrologique 95-96, l'apport moyen mensuel de l'ensemble des résurgences a été évaluée à $3,4.103 \text{ m}^3$, soit un total annuel de $40,6.103 \text{ m}^3$.

Ceci représente environ 20% de l'écoulement qui participe au débit annuel de l'exutoire. La période de tarissement du Mengong s'étend généralement de la mi-novembre à la mi-février, au cours de la grande saison sèche. Elle présente deux phases.

La première s'étend jusqu'à la mi-janvier. Le débit de base est alors encore soutenu par la vidange régulière des nappes, l'apport des sources et quelques pluies épisodiques. La décroissance est donc lente. La seconde phase qui s'étend de la mi-janvier à la mi-février, correspond à l'épuisement du stock hydrique disponible.

Les variations piézo-métriques

Le comportement des nappes phréatiques, observé de décembre 95 à juillet 96, diffère selon la position topographique. En bas de versant et dans le marécage, la variation piézométrique concorde avec l'écoulement à l'exutoire du bassin et évolue selon les phases de tarissement du Mengong. Par contre, en haut de versant, la nappe semble évoluer en ne tenant aucun compte des périodes de tarissement. Ce fonctionnement différentiel laisse supposer que l'on a deux types de nappes aux interactions complexes qui restent à préciser dans l'avenir.

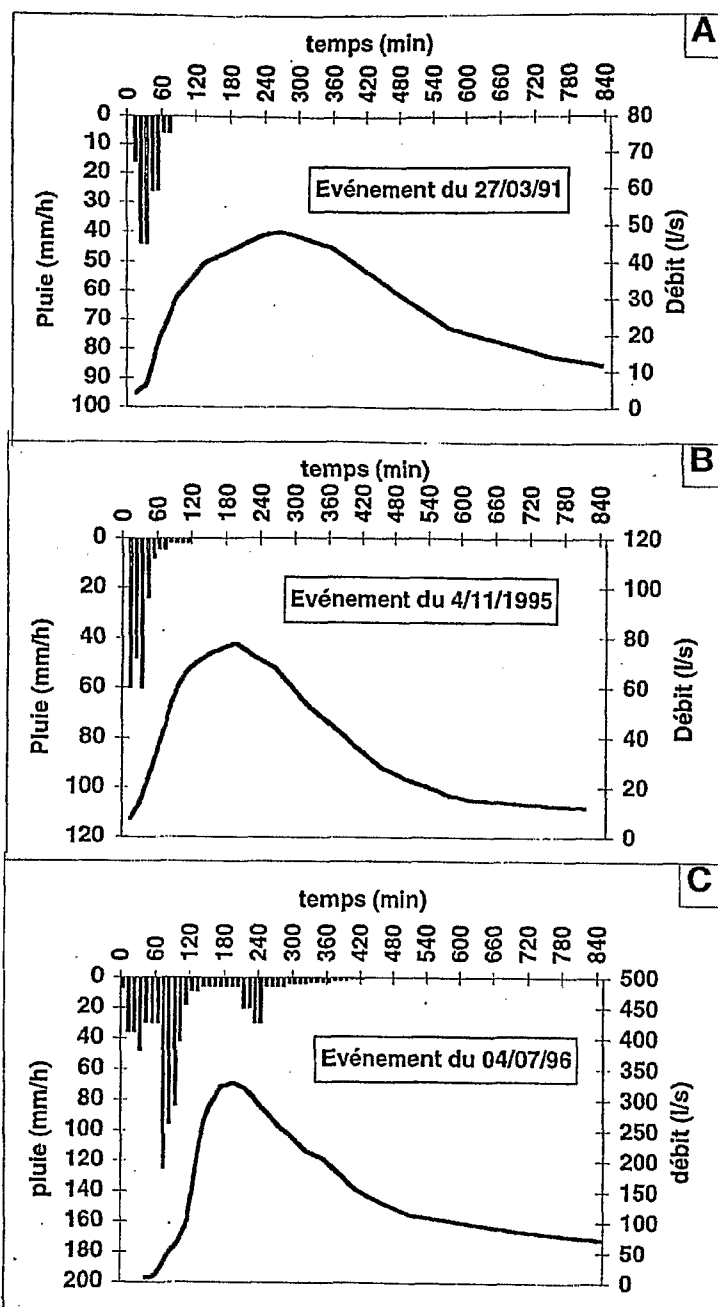


Figure 5. hydrogrammes de crue pour différents types d'événements pluvieux. A - B. Evénements homogènes ; C. Evénement complexe.

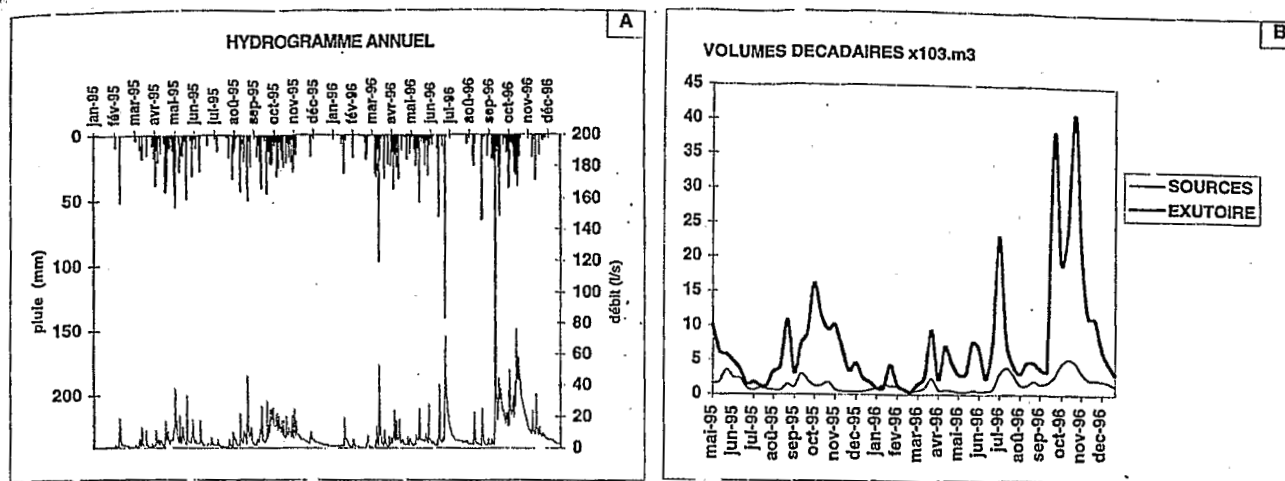


Figure 6. A. Relation pluie-débit pour deux années de suivi ; B. Différence d'écoulement entre l'exutoire et les sources pérennes.

Le bilan hydrologique

L'analyse des termes du bilan hydrologique permet de définir la contribution à l'écoulement des différents compartiments du système (nappes de bas-fond, nappes de versants et résurgences). Cette analyse a porté sur quatre cycles annuels (Figure 7). Deux types principaux de comportement peuvent être distingués selon les saisons. Le premier type concerne les saisons humides, surtout la plus grande, lorsque la pluie est supérieure à l'évapotranspiration. L'écoulement à l'exutoire est alors lié directement aux averses, favorisé par l'engorgement du bas-fond et par le soutien des résurgences. Le pourcentage annuel à la pluie de cet écoulement varie de 10 à 20%. Le second type correspond aux saisons sèches lorsque l'évapotranspiration est supérieure à la pluie. L'écoulement à l'exutoire est fonction de la vidange des réserves. Le soutien par les sources est alors beaucoup plus faible. Le pourcentage annuel à la pluie varie très peu autour de 500 mm, soit 90% de la moyenne interannuelle régionale ($1670 \text{ mm} \pm 180$ sur 35 ans de mesure à Sangmélina). A l'échelle décadaire, le bilan est positif pour une hauteur de pluie supérieure à 44 mm. A l'échelle mensuelle, l'infiltration des apports des sources observée certains jours de janvier et février, s'intègre déjà dans le calcul général du bilan hydrologique.

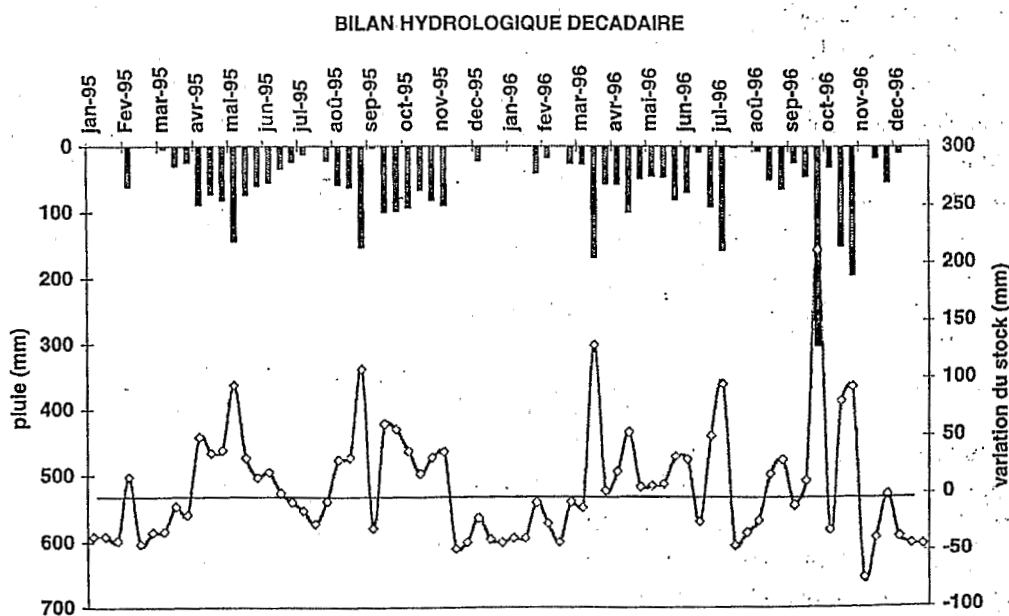


Figure 7. Bilan hydrologique décadaire vs pluie décadaire.

Les matières particulaires

Les matières en suspension filtrées à $0,45 \mu\text{m}$ ont été échantillonnées plusieurs fois par mois au griffon de la source principale et à l'exutoire du bassin versant. Toutes ces eaux sont peu turbides. La majeure partie de la charge solide est acquise au niveau du bas-fond marécageux. Etant donné que le ruissellement sur les versants est négligeable, alimenté seulement par une ou deux petites pistes de brousse, l'apport en matière solide à l'exutoire est dû essentiellement au transfert de matériaux organiques issus du marécage (Olivie-Lauquet, 1996). Ces quantités ne sont toutefois pas importantes. Deux tonnes ont été exportées durant l'année hydrologique 95-96 (Figure 8). Le taux d'érosion spécifique est de $1,2 \text{ t/km}^2/\text{an}$. La contribution en MES de la source est de $0,05$ tonnes seulement. Les concentrations à la source varient annuellement entre $0,8$ et $2,5 \text{ mg.l}^{-1}$. La répartition mensuelle de la charge solide à l'exutoire semble indépendante des débits journaliers. Elle varie du simple au double passant de 6 à 12 mg.l^{-1} en fonction des saisons. Le minimum de charge solide est observé dans les deux cas suivants : au plus fort de la grande saison des pluies et à la fin de la grande saison sèche. Le premier cas peut être dû à un effet de dilution par les pluies tandis que le second peut être imputable à la baisse du débit qui limiterait la mobilisation des particules.

Les matières dissoutes et colloïdales

Les données chimiques couvrent actuellement deux années complètes (1995 et 1996). Deux catégories d'eaux ont été identifiées. Il s'agit des eaux claires dépourvues de matière organique (résurgences, nappes superficielles de bas de versant, nappes baignant le saprolite) et des eaux colorées riches en matières organiques (Mengong, nappe superficielle de bas fond).

Les eaux des résurgences et des nappes superficielles de bas de pente sont acides ($\text{pH} = 4,9 \pm 0,3$), très pauvres en éléments majeurs (Conductivité = $15,0 \pm 1,7 \mu\text{S.cm}^{-1}$; $7 < \text{TDS} < 10 \text{ mg.l}^{-1}$; $70 < \text{TZ}^+ < 130 \mu\text{eq.l}^{-1}$). Les teneurs en COD sont inférieures à 1 mg.l^{-1} . Les concentrations en SiO_2 varient de 4 à 7 mg.l^{-1} . Ces eaux

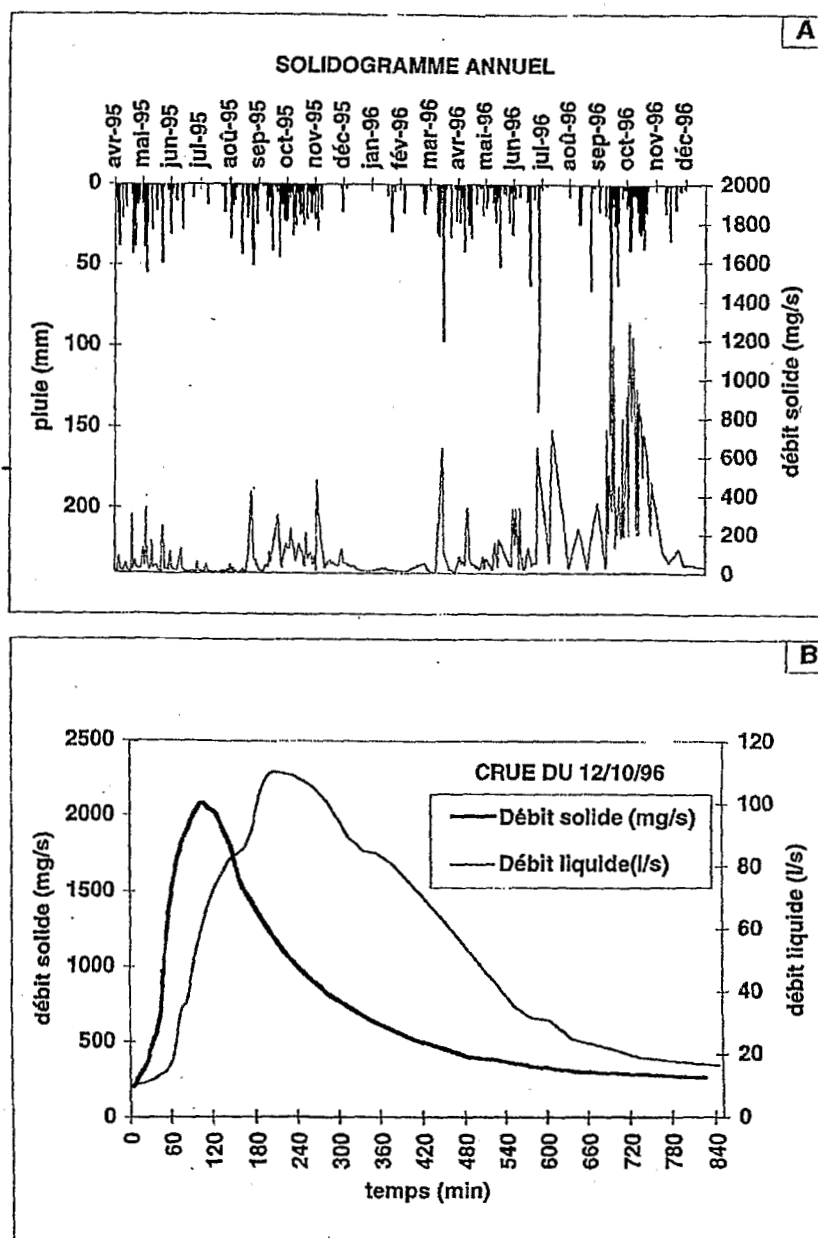


Figure 8. A. Débits solides (MES $> 0,45 \mu\text{m}$) pour la période d'avril 95 à décembre 96 vs pluie ; B. Débits solides lors d'une crue d'octobre 96.

sont en équilibre avec la kaolinite (Viers *et al.*, 1996 ; Olivie Lauquet, 1996). L'alcalinité totale est contrôlée majoritairement par les protons et elle est le plus souvent négative.

Les eaux du Mengong à l'exutoire du BVRE résultent du mélange des apports des différents compartiments de l'hydrosystème (pluies, nappes phréatiques). Comme les eaux de source, elles sont acides ($\text{pH} = 5,6 \pm 0,3$) et très peu chargées (Conductivité = $19 \pm 4 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$; TDS = $15 \pm 2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Par contre, ces eaux sont très riches en matières organiques. La concentration moyenne en COD se situe autour de $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. L'alcalinité totale est majoritairement imputable à la présence d'acides organiques (acides fulviques et humiques) ce qui rend la mesure potentiométrique difficile. Les bicarbonates sont quasiment inexistants. Les balances ioniques ne sont alors jamais satisfaites et présentent des déficits de charges anioniques de l'ordre de 20-30%. Les charges cationiques (TZ+) oscillent entre 150 et $250 \mu\text{eq} \cdot \text{l}^{-1}$ au cours de l'année et ne semblent pas dépendre, à première vue, de l'alternance saisonnière. Le silicium est le plus abondant des éléments dissous ($\text{SiO}_2 = 7,3 \pm 1,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Parmi les cations, Ca^{2+} est le plus abondant, suivi par Na^+ et Mg^{2+} . Les teneurs en K^+ sont les plus dispersées. Les concentrations en SiO_2 et en cations les plus riches du BVRE sont trouvées dans les eaux de la nappe superficielle du marécage ($\text{SiO}_2 = 18 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, TZ+ = $380 \mu\text{eq} \cdot \text{l}^{-1}$).

La zone marécageuse du BVRE est active pour la mobilisation des éléments du fait de la présence de matière organique (Viers *et al.*, 1996).

LES FLUX D'EAU ET DE MATIERE A L'ECHELLE DU BASSIN FLUVIAL DU NYONG

La démarche méthodologique

Pour appréhender la qualité des eaux de la zone d'étude, des prélèvements mensuels ont été réalisés en différents points du réseau hydrographique. Les paramètres physico-chimiques et les quantités de matière dissoute et en suspension ont été mesurées. Les points de prélèvement s'échelonnent du bassin expérimental au fleuve Nyong en prenant en compte les tributaires d'ordre supérieur tels que l'Awout et le Soo. Cette dernière rivière est l'un des principaux affluents en rive gauche du Nyong. Son cours suit une faille régionale. Sur le Nyong, deux points de prélèvement ont été pris en compte. Il s'agit des anciennes stations hydrologiques situées en amont (Mbalmayo) et en aval (Olama) de la confluence du Soo. Les données hydrologiques correspondant à notre période d'étude (1994-1996) ne sont pas disponibles. Ainsi, les données hydrochimiques acquises sont mises en relation avec les débits moyens mensuels mesurés depuis 50 ans tirés des fichiers de l'ORSTOM et du CRH. Cela est rendu possible, car le fleuve n'a subi aucun aménagement hydraulique qui aurait bouleversé son cours.

Les principaux résultats

Les matières particulaires

Les MES varient de 7 à $18 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ pour l'ensemble des mesures de 1995 et 1996 ($n = 25$). Le taux d'érosion spécifique à Mbalmayo est d'environ $5 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}$. Ce taux a été estimé grossièrement à partir du module hydrométrique moyen annuel sur 50 ans (Olivry, 1986) et de la moyenne des MES mesurées en 1995 et 1996. Il est environ deux fois plus faible que les taux d'érosion calculés sur les bassins versants voisins de la Ngoko à Moloundou ($11,5 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}$, Sigha, 1995) et du Congo-Zaïre à Brazzaville ($8 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}$, Gaillardet *et al.*, 1995). L'influence du couvert forestier préservé des régions drainées et l'extension de la zone marécageuse entre Abong-Mbang et Mbalmayo limite le transport solide sur ce fleuve. Celui-ci est majoritairement constitué par des matières organiques qui sont peu différentes de celles du Mengong (Olivie Lauquet, 1996). Toutefois, on note la présence d'oxydes de fer et de kaolinite dans le Nyong sous forme de MES tandis que ces minéraux sont absents dans le Mengong où le fer est associé à la matière organique (Olivie Lauquet, 1996) sous forme colloïdale.

Les bas-fond marécageux du bassin du Nyong contrôlent largement l'alimentation du fleuve en MES. La différence entre les charges solides spécifiques du Mengong et du Nyong peuvent être interprétées comme résultant, d'une part, du changement d'échelle entre les bassins et, d'autre part, de l'apport de matériaux provenant de l'érosion des sols des zones urbaines et déforestées (oxydes de fer, kaolinite ...).

Les matières dissoutes et colloïdales

Les eaux du Nyong sont acides ($\text{pH} = 5,9 \pm 0,4$), très peu chargées en éléments chimiques dissous (Conductivité = $25 \pm 6 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$; TDS = $15 \pm 3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$; TZ+ = $255 \pm 71 \mu\text{eq} \cdot \text{l}^{-1}$). En revanche, elles sont très riches en matières organiques (COD = $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), ce qui équivaut à 3 fois la moyenne mondiale. En première approche, les exportations spécifiques estimées, sont d'environ $6 \text{ t/km}^2/\text{an}$ pour la matière dissoute (3 fois moins que la Ngoko ; Sigha *et al.*, 1995), $6 \text{ t/km}^2/\text{an}$ pour le COD (2 fois plus que le Congo à Brazzaville (Seyler *et al.*, 1995) et de la Ngoko à Moloundou (Sigha *et al.*, 1995)). L'alcalinité totale est contrôlée par les acides organiques. Les bilans ioniques présentent d'importants déficits anioniques. La silice est en teneur comparable à celle du Mengong ($\text{SiO}_2 = 7,6 \pm 1,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Ceci correspond à une exportation spécifique d'environ $3 \text{ t/km}^2/\text{an}$. En somme, le fractionnement des éléments chimiques dans le Nyong est identique à celui rencontré dans le Mengong et les rivières d'ordre inférieur (Soo, Awout). L'acquisition de la signature chimique des eaux de ces régions semble se faire dès l'unité fonctionnelle élémentaire et est essentiellement contrôlé par la présence d'acides organiques humiques et fulviques.

CONCLUSIONS

Bien que les études entreprises sur le bassin expérimental de Nsimi et le réseau hydrographique du Nyong soient encore loin d'être achevées, les premiers résultats que nous avons obtenus sur ces écosystèmes camerounais mettent en évidence les faits suivants :

- le transport de matière, que ce soit sous forme particulaire ou dissoute, est très faible, il est limité par le couvert végétal et l'extension des zones marécageuses à l'échelle du bassin versant du Nyong,
- l'acquisition des caractéristiques chimiques des eaux des rivières se fait à l'échelle des petits bassins versants au niveau des bas fonds marécageux,
- la matière organique a un rôle clef dans le transfert des éléments chimiques,
- les modifications apportées au milieu (déforestation, urbanisation) augmentent les processus érosifs et par conséquent les transports de matières minérales sous forme particulaire observés dans le Nyong.

RÉFÉRENCES

- BENEDETTI, M., MENARD, D., NOACK, Y., CARVALHO, A. and NAHON, D., 1994. Water/rock interactions in tropical catchments: field rates of weathering and biomass impact. *Chem. Geol.* 118, 203-220.
- BILONG, P. BELINGA, S. E., VOLKOFF, B., 1992. Séquence d'évolution des paysages cuirassés et des sols ferrallitiques en zone forestière tropicale de l'Afrique centrale. *C. R. Acad. Sci. Paris* 314 II, 109-115.
- BILONG, P., 1988. *Genèse et développement des sols latéritiques sur syénite alcaline potassique en milieu forestier du Centre-Sud Cameroun. Comparaison avec les sols ferrallitiques développés sur roches basiques*. Th. Doc. ès Sci., Univ. Yaoundé, Cameroun.
- BLUTH, G. J. S. et KUMP L. R., 1994. Lithologic and climatologic controls of river chemistry. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 58, 2341-2359.
- BRAUN J. J., VIERS, J., DUPRE, B., POLVE, M., NDAM, J. et MULLER, J. P., 1995. Solid/liquid REE fractionation in the lateritic system of Goyoum (East-Cameroon)-Implication for the present dynamic of the pedological covers under the moist tropical regions. Accepté à *Geochim. Cosmochim. Acta*.
- BRUIJNZEEL, L. A., 1990. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review*. International Hydrological Programme-Humid Tropics Programme, UNESCO, Paris.
- BUFFLE, J., PERRET, D. and NEWMANN, M., 1992. The use of filtration and ultrafiltration for size fractionation of aquatic particles, colloids and macromolecules. In *Environmental Particles* (Ed. J. BUFFLE and VAN LEEUWEN), IUPAC Environmental Analytical Chemistry Series, Vol. I, Chap. 5, pp. 171-229. Lewis.

- DREVER, J.I. and CLOW, D.W., 1995. Weathering rates in catchments. In: A.F. White and S.L. Brantley (Editors), Chemical weathering rates of silicate minerals. *Min. Soc. of America, Reviews in Mineralogy*, 31, pp. 463-483.
- DREVER, J.I. and VANCE, G.F., 1994. Role of soil organic acids in mineral weathering process. In: E.D. Pittman and M.D. Lewan (Editors), Organic Acids in Geological Processes, Springer-Verlag, 482 pp.
- DUPRE, B., GAILLARDET, J., ROUSSEAU, D. and ALLEGRE, C. J., 1995. Major and trace elements of river borne material: the Congo basin case. *Geochim. Cosmochim. Acta*.
- EYROLLE, F., 1994. *La fraction colloïdale organique dans les processus de transport des métaux dans les eaux de surface : application aux systèmes d'altération en milieu tropical (Brésil)*. Thèse Univ. Aix-Marseille III.
- FEARNSIDE, P. M., 1996. Amazonie: la déforestation repart de plus belle. *La Recherche*, 294, 44-48.
- GAILLARDET, J., DUPRE, B. et ALLEGRE, C. J., 1995. A geochemical mass budget model applied to the Congo basin rivers. Erosion rates and composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 3469-3485.
- GUYOT, J. L., 1992. *Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie bolivienne*. Thèse Doc., Univ. Bordeaux, 362 pp.
- GUYOT, J.L. et WASSON, J.G., 1994. Regional pattern of riverine Dissolved Organic Carbon in the Bolivian Amazonian drainage basin. *Limnol. and Oceano.*, 39 (2) : 452-458.
- LANFRANCHI, R. et SCHWARTZ, D., 1990. *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*. Edition de l'ORSTOM, Coll. Didactiques, 531 pp.
- LASAGA, A. C., SOLER, J. M., GANOR, J., BURCH, T. E. et NAGY, K. L., 1994. Chemical weathering rate laws and global geochemical cycles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 2361-2386.
- LETOUZEY, R., 1968. *Etude phytogéographique du Cameroun*. Ed. Lechevalier, Paris, 280pp
- LIKENS, G. E. , BORMANN, F. H., PIERCE, R. S. EATON, J. S. et JONHSON, N. M., 1977. *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Springer Verlag, Berlin.
- LUCAS, Y., LUIZO, F., CHAUVEL, A., ROUILLER, J. and NAHON, D., 1993. Relation between the biological activity of the equatorial rainforest and the mineral composition of the soils. *Science*, 260, 521-523
- MAURIZOT, P., ABESSOLO, A., FEYBESSE, J. L., JOHAN, V. and LECOMTE, P., 1986. *Etude et prospection minière du Sud-Ouest Cameroun-Synthèse des travaux de 1978 à 1985*. BRGM, Direction des Activités Minières, 274 pp.
- MERINO, E., NAHON, D. et WANG, Y (1993. Kinetics and mass transfer of pseudomorphic replacement : application to replacement of parent minerals and kaolinite by Al, Fe, and Mn oxides during weathering. *Amer. J. Sci.*, 293, 135-155.
- MEYBECK, M., 1987. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from dissolved loads. *Am. J. Sci.*, 287, 401-428.
- MEYBECK, M., 1988. *How to establish and use world budgets of river material, in Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles*. A. Lermann and M. Meybeck, Eds, Kluwer, Dordrecht, pp 247-272.
- MEYBECK, M., 1994. *Origin and variable composition of present day riverborne material. in Material Fluxes on the Surface of the Earth. Studies in Geophysics*. Ed. Board on Earth Sciences and Resources-Commission on Geosciences, Environment and Resources-National Research Council. National Academic Press. Washington DC; pp 61-73.
- MOLINIER, M., GUYOT, J. L., De OLIVEIRA, E., GUIMARAES, V. et CHAVES, A., 1995. *Hydrologie du bassin de l'Amazonie*. Eds Olivry J. C. et Boulègue J., ORSTOM Editions. Collection Colloques et Séminaires. pp 335-355.

- MULLER, J. P., MANCEAU, A., HAZEMANN, J. L., ALLARD, T., ILDEFONSE, P et CALAS, G., 1995. Crystal chemistry of kaolinite and Fe-Mn oxides: relation with formation conditions of low temperature systems. *Amer. J. Sci.*, 295, 1115-1155
- NAHON, D., 1991. *Introduction to the petrology of soil and chemical weathering*. John Wiley and Sons, New York, 313p.
- NEGREL, P., ALLEGRE, C. J., DUPRE, B. et LEWIN, E., 1993. Erosion sources determined by inversion of major and trace element ratios in river water: the Congo basin case. *Earth Planet. Sci. Lett.* 120, 59-76.
- NOUVELOT, J. F., 1993. *Guide de pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique tropicale et équatoriale*. CIEH-ORSTOM, 495 p.
- OLIVIE-LAUQUET, G., 1996. *Analyses des transferts solides dans la géosphère tropicale : exemple du bassin versant du Nyong (Cameroun)*. Thèse de Doctorat de l'Université PARIS VII. 204 pp.
- OLIVRY, J. C., 1986. *Fleuves et rivières du Cameroun*. Monographies Hydrologiques ORSTOM N°9. Ed. MESRES-ORSTOM. 733 pp.
- ROBAIN, H., BRAUN, J. J., ALBOUY, Y. et NDAM, J. R., 1995. An electrical monitoring of an elementary watershed in the rainforest of Cameroun. *Proceedings of Environmental and Engineering geophysics 1st Meeting*. 25-27/09/1995, Torino, Italy, 411-414.
- ROBAIN, H., DESCLOITRES, M., RITZ, M. et YENE ATANGANA, Q., 1996. A multiscale electrical survey of a lateritic soil system in the rainforest of Cameroon. *Applied Geophys.*, 34, 237-253.
- SANTOIR, C. et BOPDA, A., 1995. *Atlas régional du Sud Cameroun*. Ed. ORSTOM-MINRES Cameroun, 52 p.
- SEYLER, P., ETCHEBER, H., ORANGE, D., LARAQUE, A., SIGHA NKAMDJOU, L. et OLIVRY, J. C., 1995. *Concentrations, fluctuations saisonnières et flux de carbone dans le bassin du Congo*. In *Grands bassins fluviaux péri-atlantiques: Congo, Niger, Amazone*. Eds Olivry J. C. et Boulègue J., ORSTOM Editions. Collection Colloques et Séminaires. pp 200-217.
- SIGHA NKAMDJOU, L., CARRE, P. et SEYLER, P., 1995. *Bilans hydrologiques et géochimiques d'un écosystème forestier équatorial de l'Afrique Centrale : la Ngoko à Moloundou*. In *Grands bassins fluviaux péri-atlantiques: Congo, Niger, Amazone*. Eds Olivry J. C. et Boulègue J., ORSTOM Editions. Collection Colloques et Séminaires. pp 200-217.
- STALLARD, R. F., 1988. *Weathering and erosion in the humid tropics*, in *Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles*. A. Lermann and M. Meybeck, Eds, Kluwer, Dordrecht, pp 225-246.
- STALLARD, R. F., 1995. Tectonic, environmental and human aspects of weathering and erosion : a global review using a steady-state perspective. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 23, 11-39.
- STALLARD, R. F. et EDMOND, J. M., 1983. Geochemistry of the Amazon 2: The influence of the geology and weathering environment on the dissolved load. *J. Geophys. Res.*, 88, 9671-9688.
- STALLARD, R. F. et EDMOND, J. M., 1987. Geochemistry of the Amazon 3: Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. *J. Geophys. Res.*, 92, 8293-8302.
- SUCHEL, J. B., 1987. *Les climats du Cameroun*. Th. Doct., Univ. Paris XI, 380 pp.
- TARDY, Y., 1993. *Péetrologie des latérites et des sols tropicaux*. Masson, Paris, 459p.
- TAYLOR, S. R. and McLENNAN, S. M., 1985. *The continental crust : its composition and evolution - an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*. Blackwell, Oxford, 312 pp.
- VIERS, J., DUPRE, B., POLVE, M., SCHOTT, J., DANDURAND, J. L. et 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. *Accepté à Chem. Geology*.

Jean-Paul VICAT et Paul BILONG

GÉOSCIENCES AU CAMEROUN

Collection GEOCAM 1/1998

Presses Universitaires de Yaoundé
1998

Photographie de couverture :

« Le morne rocheux d'Ako' akas (sud-est d'Ébolowa - Cameroun) ».

Cliché JP. VICAT

© Presses Universitaires de Yaoundé
Université de Yaoundé I
CAMEROUN

ISBN n° 2-911541-08-1 • Dépôt légal 1998