

FLUX LIQUIDES, DISSOUS, ET PARTICULAIRES DE DEUX GRANDS BASSINS INTERTROPICAUX : LE CONGO A BRAZZAVILLE ET LE RIO MADEIRA A VILLABELLA.

J. C. OLIVRY, J. P. BRICQUET, A. LARAQUE,
J. L. GUYOT, J. BOURGES & M. A. ROCHE

1. INTRODUCTION.

Deux études hydrologiques sur des grands fleuves tropicaux ont été menées dans le cadre de l'Unité de Recherche ORSTOM "Géodynamique de l'Hydrosphère Continentale" (UR2A). Ces programmes de recherche, orientés vers la connaissance des flux de matières dissoutes et particulaires, ont été réalisés sur deux grands systèmes fluviaux du bassin Atlantique Sud ; en Afrique : le Congo-Zaire à Brazzaville, et dans le bassin amazonien : le Rio Madeira à Villabella (Fig.1).

L'étude du Congo, réalisée dans le cadre de l'opération "Grands Bassins Fluviaux" (GBF) des programmes PIRAT (Programme Interdisciplinaire de Recherches : Géodynamique des Milieux Intertropicaux Périalantiques, INSU/ORSTOM), puis PEGI (Programme d'étude de l'Environnement de la Géosphère Intertropicale, INSU/ORSTOM), est basée sur des mesures et échantillons mensuels du Congo à Brazzaville, couvrant la période 1987-1992.

Le Rio Madeira a été étudié dans le cadre du PHICAB (Programme Climatologique et Hydrologique du Bassin Versant Amazonien de Bolivie, ORSTOM/SENAMHI/UMSA). Les résultats présentés correspondent aux données acquises de 1983 à 1989, aux stations de Cachuela Esperanza sur le Rio Béni et Guayaramerin sur le Rio Mamoré, situées respectivement à 30 et 55 km à l'amont de leur confluence (Villabella), où ils forment alors le Rio Madeira.

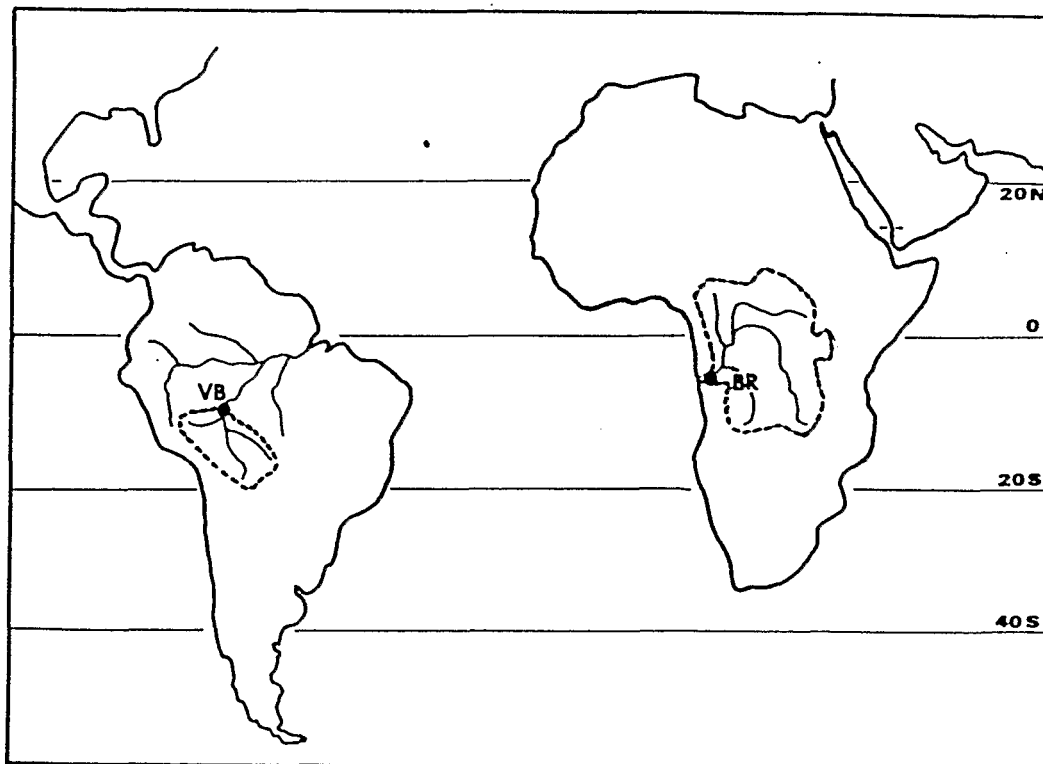


Figure n° 1 :

Le Congo à Brazzaville [BR] et le Rio Madeira à Villabella [VB] dans le bassin Atlantique Sud.

Les flux de matières transportées par le Congo vers l'océan Atlantique avaient déjà fait l'objet de premières évaluations (Molinier, 1979; Deronde et Symoens, 1980; Meybeck, 1984; Kinga Mouzeo, 1986). Les résultats des programmes PIRAT et PEGI (1987-1992) ont permis de préciser ces flux et d'en connaître précisément les variations saisonnières et interannuelles (Olivry, 1986; Olivry et al., 1988; Moukolo et al., 1990; Bricquet, 1991; Probst et al., 1992; Laraque et al., in press). Les résultats du programme PHICAB en Bolivie ont permis d'estimer pour la première fois les flux de matières dissoutes et particulaires d'un tributaire andin de l'Amazone (Roche et Fernandez, 1988; Guyot et al., 1988, 1989, 1993; Bourges et al., 1990; Guyot, 1992). Le but de ce travail est de comparer les résultats obtenus sur ces deux grands fleuves tropicaux, concernant les régimes hydrologiques et des flux de matières transportées.

2 LES BASSINS VERSANTS.

2.1. Le Congo.

Le bassin du Congo a une superficie de $3,7 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ à son exutoire mais draine près de $3 \cdot 500 \cdot 000 \text{ km}^2$ à Brazzaville qui est la dernière station de contrôle (Fig.2A). Le bassin du Congo correspond à une vaste cuvette cernée à peu près complètement par des reliefs périphériques peu élevés. L'altitude de la cuvette ne dépasse pas 400 mètres ; elle est bordée au sud-ouest et à l'ouest par la chaîne du Mayombe (800 m), du Chaillu (900 m) et par les plateaux Téké (600 à 800 m). Au nord, les hauts plateaux du massif de l'Adamaoua (1 500 m), puis les grands reliefs monotones de l'Oubangui (600 à 700 m), constituent la dorsale Congo-Tchad. Plus à l'est, se trouvent des plateaux qui ont été fortement relevés (entre 2 000 à 3 000 m) à l'approche de la 'Rift Valley'. Des pics volcaniques s'observent dans ces régions et notamment le Ruwenzori à plus de 5000 mètres. Les plateaux situés au sud (1 000 à 2 000 m) forment la dorsale Congo-Zambèze, qui constituent le château d'eau de la moitié australe de l'Afrique.

La géologie du bassin est à rapprocher de la gigantesque cuvette intérieure (cuvette congolaise) et du vieux socle continental africain. Les formations géologiques reconnues sur ce bassin sont de nature et d'origine diverses, groupées en trois ensembles : 1. Les formations superficielles d'âge quaternaire représentées par les alluvions sableuses et argileuses de la cuvette congolaise. 2. Les formations de couverture d'âge méso et cénozoïque. Ce sont d'importantes séries sédimentaires essentiellement gréseuses et sableuses. 3. Les formations plissées précambriennes dans lesquelles le sédimentaire ancien (précambrien supérieur), représenté par les séries schisto-calcaires et schisto-gréseuses, se distingue des terrains du socle cristallin ou métamorphique (précambrien inférieur).

La forêt dense et humide occupe environ 50% du bassin tandis que les bordures nord et la partie sud laissent place à des forêts plus claires, savanes boisées et forêts galeries.

2.2. Le Rio Madeira.

La superficie du bassin du Rio Madeira à Villabella, situé à la confluence des rios Béni et Mamoré, est d'environ $900 \cdot 000 \text{ km}^2$. Les deux tiers de ce bassin sont drainés par le Rio Mamoré et le tiers restant par le Rio Béni (Fig.2B). Les Andes occupent $217 \cdot 000 \text{ km}^2$, soit le quart de la superficie. Le bassin est limité à l'ouest et au sud par la Cordillère andine, dont les sommets dépassent fréquemment 6 400 m (Illimani, Illampu), et qui constitue par son altitude et son orientation une barrière sur laquelle vient buter l'air humide amazonien.

Entre les glaciers des cimes andines et la forêt tropicale humide de piémont, les cours d'eau drainent fréquemment des zones semi-arides de haute altitude, en particulier dans le bassin du Rio Grande et sur l'Altiplano. Dans le centre de la plaine orientale de Bolivie (les Llanos), la forêt est interrompue par la savane inondable mais réapparaît sur le bouclier brésilien et au nord où commence la grande forêt amazonienne. Les terrains andins sont essentiellement d'âge Paléozoïque, mais présentant des séries intrusives du Cénozoïque qui constituent les plus hauts sommets de la Cordillère. Une épaisse série sédimentaire tertiaire et quaternaire est observée sur l'Altiplano en altitude, mais aussi dans les Llanos de la plaine amazonienne.

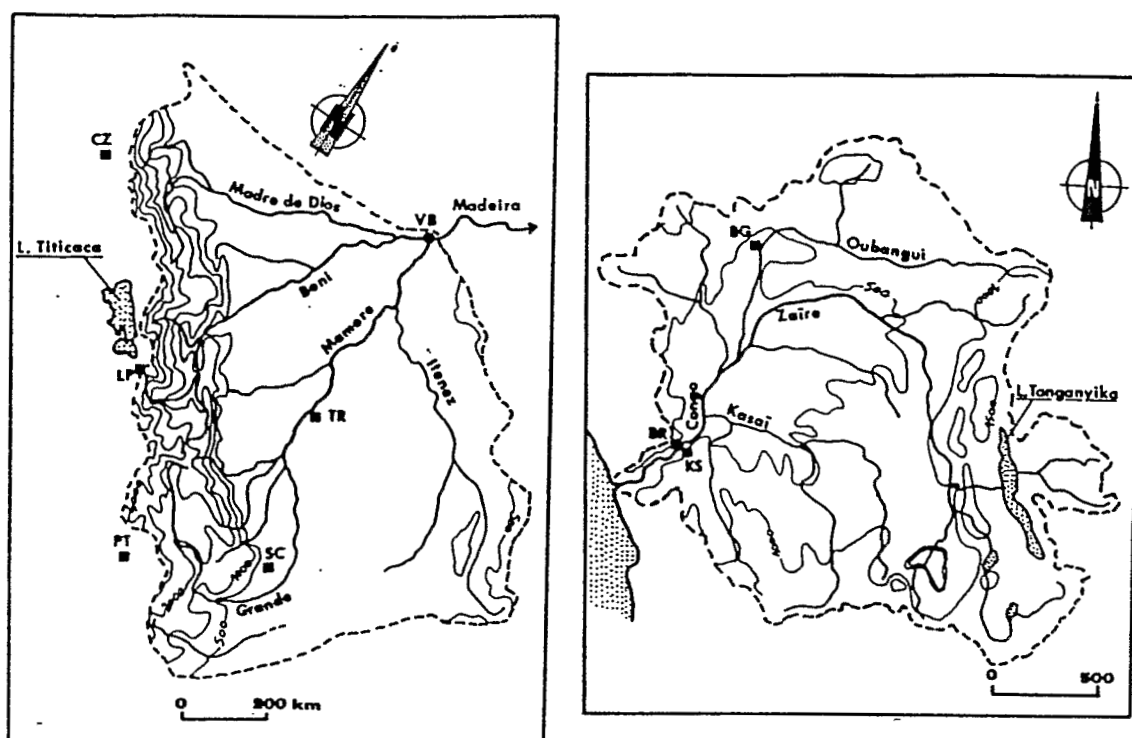


Figure n° 2

Cartes des bassins du Congo [BG=Bangui, BR=Brazzaville, KS=Kinshasa] et du Rio Madeira à Villabella [CZ=Cuzco, LP=La Paz, PT=Potosi, SC=Santa Cruz, TR=Trinidad, VB=Villabella].

3. PLUVIOMETRIE.

3.1. Le Congo.

De par sa position à cheval sur l'équateur, le Congo subit une grande diversité de climats permettant d'établir la zonation climatique suivante : 1. la zone comprise entre 4°S et 8°N connaît un climat équatorial qui se caractérise par des températures moyennes annuelles supérieures à 25°C. L'amplitude thermique est pratiquement nulle et l'humidité de l'air très forte. Les précipitations moyennes atteignent 2 000 mm.an⁻¹ et la saison sèche est pratiquement inexistante. 2. Dans la partie sud et dans l'extrême nord du bassin, le climat est plus contrasté, de type tropical. Il se caractérise par une saison sèche de trois mois, des températures élevées toute l'année, et une amplitude thermique forte (10°C). Les précipitations moyennes atteignent au mieux 1 500 mm.an⁻¹. Sur l'ensemble du bassin, la lame annuelle précipitée est de l'ordre de 1 600 mm.

3.2. Le Rio Madeira.

Pour le bassin du Rio Madeira, la distribution des précipitations liée à la dynamique des masses d'air et aux phénomènes orographiques (Roche et al., 1990), varie fortement selon les régions. Mais la répartition saisonnière est similaire sur toute l'Amazonie bolivienne, indiquant l'appartenance à un même régime pluviométrique. Le bassin du Rio Béni reçoit dans sa partie andine entre 300 et 4 000 mm.an⁻¹ suivant l'exposition des vallées, alors que dans la plaine, la pluviométrie est comprise entre 1 650 et 2 000 mm.an⁻¹ (Espinoza, 1985; Abasto, 1987). Le bassin du Rio Mamoré, avec des valeurs extrêmes de 480 mm.an⁻¹ dans la zone andine la plus aride, et de 6 000 mm.an⁻¹ au pied des Andes, reçoit sur la plaine amazonienne des précipitations

comprises entre 800 et 3 000 mm.an⁻¹ (Garcia, 1985; Cruz, 1987). L'accroissement régulier des pluies est remarquable vers le nord et vers l'ouest. La précipitation moyenne annuelle sur le haut bassin du Rio Madeira est de 1 700 mm (Roche et al., 1992).

4. HYDROLOGIE.

4.1. Le Congo.

La station de mesure de Brazzaville contrôle près de 95% de la superficie totale du bassin. A cette station, le fleuve a un régime complexe dû aux influences multiples que subit son vaste bassin. Les débits observés sont le résultat du mélange de ses affluents d'origine australe et boréale. Ils montrent (Figure 3A) : 1. une période de basses eaux de juin à septembre, correspondant aux basses eaux du régime équatorial et à la décrue du régime tropical austral. 2. une période de très hautes eaux d'octobre à janvier, correspondant aux apports de la partie septentrionale du bassin (bassin de l'Oubangui). 3. une seconde période de basses eaux en février-mars due aux basses eaux de l'hémisphère nord, moins accusée que celle d'août du fait de l'arrivée des hautes eaux du Kasai. 4. une seconde période de maximum en avril-mai moins importante que celle de décembre, due aux hautes eaux de la partie méridionale du bassin (Kasai et Haut-Zaïre).

En dépit de ces variations saisonnières, le Congo présente toute l'année un débit élevé dans son cours inférieur, ce qui s'explique non seulement par la constance et l'abondance des pluies équatoriales, mais surtout par le fait que chaque période d'étiage dans l'une des zones de son bassin d'alimentation est compensée par une période de crue de l'autre côté de l'équateur. L'extrême pondération du fleuve est également accentuée par l'action régulatrice des lacs de la cuvette centrale. Le Congo présente donc un régime saisonnier très régulier avec un rapport entre le débit maxima mensuel et le débit minima mensuel de 1.92, et un coefficient de variation (cv) de 0.21 (53 100 m³.s⁻¹ en décembre, et 27 700 m³.s⁻¹ en août) pour la période 1987-1992.

Tableau I :

Caractéristiques hydrologiques des bassins du Congo (1987-1992) et du Rio Madeira (1983-1989). [cv=coefficient de variation des moyennes mensuelles]

	Sup. (km ²)	Pluvio. (mm.an ⁻¹)	Débit (m ³ .s ⁻¹)	cv	Débit spéc. (l.s ⁻¹ .km ⁻²)	Coef. écou. (%)
Congo à Brazzaville	3 500 000	1 600	36 700	0.21	11	21
Madeira à Villabella	900 000	1 700	17 300	0.60	19	36

Calculé sur 90 ans (1903-1992), le module interannuel du Congo à Brazzaville est de 40 600 m³.s⁻¹, soit un débit spécifique de 11 l.s⁻¹.km⁻² et un volume exporté de 1 190 10⁹ m³.an⁻¹, pour un coefficient d'écoulement de 21% (Molinier, 1979; Olivry et al., 1988; Bricquet, 1991; Laraque et al., in press). Ces résultats sont légèrement différents de ceux du tableau I concernant la période 1987-1992, pour laquelle le module du Congo est de 36 700 m³.s⁻¹, et qui traduit donc un cycle légèrement plus sec (-7%). Le régime interannuel est également très régulier puisque le rapport entre les modules extrêmes n'est que de 1.67 (56 000 m³.s⁻¹ en 1961/62, et 33 500 m³.s⁻¹ en 1913/14). Les valeurs extrêmes relevées sont les suivantes : 22 000 m³.s⁻¹ le 20 juillet 1905, et 76 500 m³.s⁻¹ le 27 décembre 1961.

4.2. Le Rio Madeira.

La distribution saisonnière des pluies, identique sur l'ensemble du bassin, est caractérisée par une saison pluvieuse de décembre à mars, et une saison sèche de juin à septembre. Cette alternance détermine dans les Andes et leur piémont des hydrogrammes dentelés (Bourges et al., 1990) qui se composent entre eux vers l'aval pour donner naissance à la grande crue annuelle de type tropical, précédée ou suivie par de petites crues bien différenciées. La crue annuelle est de mieux en mieux définie d'amont en aval des grands axes de drainage. Elle est plus régulée et aplatie dans les rios Mamoré et Itenez, en raison de l'extension de vastes plaines d'inondation. Cela explique le retard de la crue du Rio Mamoré par rapport à celle du Rio Béni, pouvant atteindre deux mois (Roche et Fernandez, 1988).

Les stations hydrométriques de Cachuela Esperanza sur le Rio Béni, et Guayaramerin sur le Rio Mamoré, drainent 98% du bassin du Rio Madeira à Villabella. Le débit de ce cours d'eau pourra donc être assimilé à la somme des débits observés à ces deux stations.

Le Rio Madeira présente un régime saisonnier marqué par une période de hautes eaux s'étalant de janvier à mai, et une période de basses eaux de juillet à novembre (Figure 3A). Le rapport entre débits moyens mensuels extrêmes est de 6.62, pour un cv de 0.60 (31 100 m³.s⁻¹ en mars, et 4 700 m³.s⁻¹ en septembre).

Pour la période 1983-1989, le module interannuel du Rio Madeira à Villabella est 17 300 m³.s⁻¹, soit 546 10⁹ m³.an⁻¹, correspondant à un débit spécifique de 20 l.s⁻¹.km⁻², et un coefficient d'écoulement de 36%. Les rios Béni et Mamoré assurent en moyenne respectivement 52% et 48% du volume écoulé. En utilisant des chroniques de débit plus anciennes, complétées par celles du PHICAB (Bourges, 1987; Bourges & al., 1987), le rapport des modules extrêmes est de 1.61 (22 500 m³.s⁻¹ en 1982, et 14 000 m³.s⁻¹ en 1989). La variabilité interannuelle des débits du Rio Madeira semble donc être réduite, malgré l'événement climatique majeur El Niño survenu en 1982. Pour la période 1983-1989, les valeurs extrêmes observées sont : 42 900 m³.s⁻¹ le 31 mars 1986, et 2 510 m³.s⁻¹ le 17 septembre 1988).

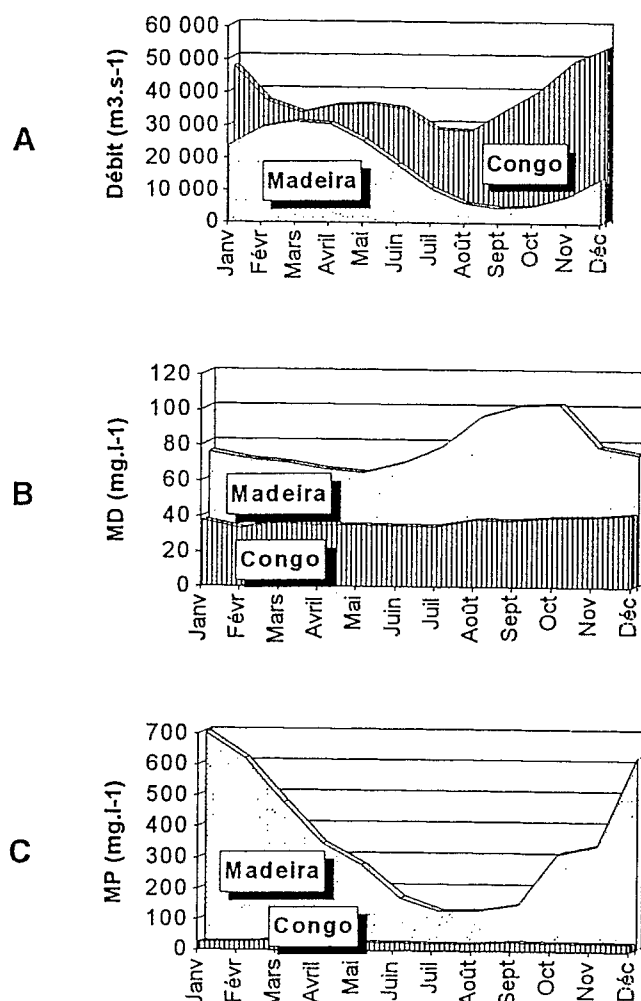


Figure n° 3 :

Débits moyens mensuels (A), teneurs moyennes mensuelles en matières dissoutes (B), et teneurs moyennes mensuelles en matières particulaires (C), du Congo à Brazzaville (1987-1992) et du Rio Madeira à Villabella (1983-1989).

4.3. Comparaison.

Les bassins du Congo et du Haut-Madeira reçoivent des précipitations qui sont du même ordre de grandeur (Tableau I), alors que le coefficient d'écoulement est nettement plus élevé sur le bassin du Madeira. Cette particularité est vraisemblablement liée à la présence d'un domaine andin à forte pente et constitué de roches peu perméables. De même, une saison des pluies concentrée sur quelques mois de l'année (Rio Madeira) peut entraîner un ruissellement plus important qu'un étalement des pluies tout au long de l'année (Congo). Avec une superficie quasi équivalente, le bassin de l'Oubangui draine 4 fois moins d'eau que celui du Rio Madeira.

La variation interannuelle du module est relativement faible pour les deux fleuves, qui présentent un rapport entre modules extrêmes voisin. Par contre les variations saisonnières au cours du cycle hydrologique sont beaucoup plus marquées sur le Rio Madeira, pour lequel le rapport entre débits moyens mensuels extrêmes est 3.5 fois supérieur à celui observé pour le Congo.

5. METHODOLOGIE.

Pour le Congo, les prélèvements sont effectués à l'amont de Brazzaville, une fois par mois depuis décembre 1986, sur une verticale de 5 points choisie comme représentative de la section, en fonction des mesures antérieures. Pour évaluer les flux, les concentrations sont pondérées par la vitesse du courant (Sigha et Bricquet, 1987).

Les mesures réalisées aux stations de Cachuela Esperanza et Guayaramerin sur les rios Béni et Mamoré, permettent de connaître les flux de matières du Rio Madeira à Villabella. Ces mesures sont basées sur des prélèvements de surface journaliers, complétés par un échantillonnage complet de la section lors des jaugeages (tous les deux ou trois mois), en utilisant un échantillonneur intégrateur (Guyot et Calle, 1990).

La détermination des matières particulaires se fait par filtration sur filtre Millipore à 0.45 μm .

6. MATIERES DISSOUTES.

6.1. Le Congo.

Les concentrations de matières dissoutes minérales transportées par le Congo sont à peu près constantes dans le temps (variation de 25 à 46 mg.l^{-1} , pour une moyenne annuelle de 36 mg.l^{-1}) et cette variabilité ($\text{cv}=0.07$) est plus faible que celle des débits (Figure 3B et Tableau II). Malgré tout, certaines variations sont observées pour le résidu sec (à 105 °C.), mais traduisent en réalité l'évolution de la matière organique en crue. Le régime du flux de matières dissoutes présente un léger caractère saisonnier ($\text{cv}=0.28$), avec un rapport entre les flux extrêmes mensuels de 2.33 (191 000 t.jour^{-1} en décembre, et 82 000 t.jour^{-1} en juillet).

Les eaux du Congo sont peu chargées mais l'importance du débit fait que le transport moyen (matières minérales dissoutes) est de 42 10^6 t.an^{-1} .

6.2. Le Rio Madeira.

Les teneurs en matières dissoutes minérales des rios Béni et Mamoré varient respectivement de 53 à 122 mg.l^{-1} , et de 44 à 176 mg.l^{-1} , avec une valeur moyenne annuelle estimée à 78 mg.l^{-1} pour le Rio Madeira à Villabella. L'évolution saisonnière des teneurs en solution (Figure 3B) présente des variations sensibles au cours du cycle hydrologique en opposition avec les débits (Roche et Fernandez, 1988; Guyot, 1992). La variabilité des débits étant plus grande que celle des matières en solution ($\text{cv}=0.17$), le régime du flux de matières dissoutes est comparable au régime hydrologique, avec un rapport entre flux moyens mensuels extrêmes de 4.48 (184 000 t.jour^{-1} en mars, et 41 000 t.jour^{-1} en septembre).

Le flux de matières dissoutes minérales à Villabella est de 39 10^6 t.an^{-1} , dont 53% proviennent du Rio Béni, et 47% du Rio Mamoré.

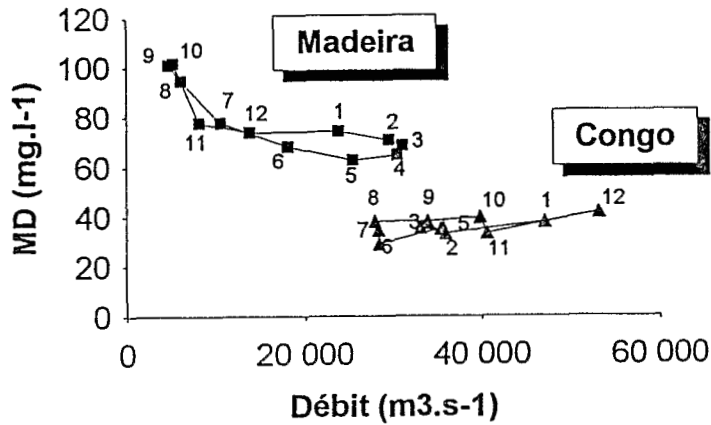
6.3. Comparaison.

Les flux de matières dissoutes minérales exportés par le Congo à Brazzaville et le Rio Madeira à Villabella sont respectivement de 42 et 39 10^6 t.an^{-1} (rapport de 1.1), alors que le

rapport de superficie de leur bassin est voisin de 4. Les taux de production spécifique de matières dissoutes sont donc 3.6 fois plus élevés pour le Rio Madeira, traduisant en fait l'érosion chimique de la Cordillère andine.

L'évolution saisonnière des teneurs est beaucoup plus marquée dans le bassin du Rio Madeira, avec des valeurs maxima en fin de saison sèche, et des teneurs minima en période de hautes eaux (Figure 4A). Après une chute sensible de la concentration lors de la montée de crue, les teneurs se stabilisent. La décrue est caractérisée par l'arrivée d'eaux moins minéralisées, correspondant à la vidange des zones d'inondations alimentées par la pluie sur les Llanos. Sur le Congo, l'évolution saisonnière des teneurs est réduite, mais une certaine tendance à l'augmentation de la concentration avec les débits est observable.

A



B

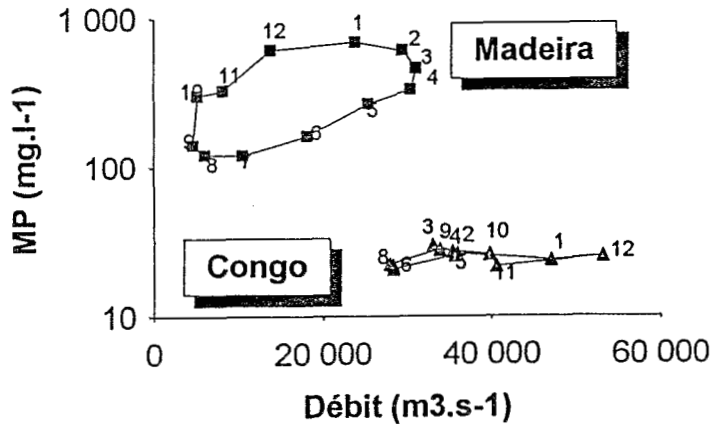


Figure n° 4

Matières dissoutes vs. débit (A) et Matières particulaires vs. débit (B), du Congo à Brazzaville (1987-1992) et du Rio Madeira à Villabella (1983-1989). [valeurs moyennes mensuelles]

7. MATIERES PARTICULAIRES.

7.1. Le Congo.

Les concentrations en matières particulaires du Congo varient de 17 à 41 mg.l⁻¹, pour une moyenne de 26 mg.l⁻¹ (cv=0.09). Le maximum de concentration se produit à la montée de la crue principale et un second maximum se fait remarquer lors de la crue secondaire. Le flux de matières particulaires est le plus important aux hautes eaux, à cause de la prépondérance du débit. Le rapport entre les valeurs extrêmes mensuelles est de 2.25 (117 000 t.jour⁻¹ en décembre, et 52 000 t.jour⁻¹ en juillet).

L'exportation de matières solides du Congo est estimée à 31 10⁶ t.an⁻¹.

7.2. Le Rio Madeira.

Le Rio Madeira reçoit de ses tributaires andins (rios Madre de Dios, Béni et Mamoré) une grande quantité de matériel sédimentaire provenant de l'érosion de la chaîne montagneuse (Guyot et al, 1988, 1989; 1993). Malgré d'importants phénomènes de sédimentation observés lors de la traversée des Llanos, le Rio Madeira à Villabella présente toujours un net caractère andin.

Les teneurs en matières particulaires des rios Béni et Mamoré varient fortement au cours du cycle hydrologique (Figure 3C). Les valeurs extrêmes observées sont respectivement de 5 à 2460 mg.l⁻¹ pour le Rio Béni, et de 0.5 à 1470 mg.l⁻¹ pour le Rio Mamoré, pour une valeur moyenne annuelle estimée à 350 mg.l⁻¹ pour le Rio Madeira à Villabella (cv=0.59 pour les valeurs moyennes mensuelles). Les concentrations maxima sont observées lors de la montée de crue. Le régime du flux de matières particulaires est comparable au régime pluviométrique, avec un rapport entre les valeurs extrêmes mensuelles de 26.8 (1 550 000 t.jour⁻¹ en février, et 58 000 t.jour⁻¹ en septembre).

Le flux de matières particulaires à Villabella est de 223 10⁶ t.an⁻¹, dont 72% proviennent du Rio Béni, et 28% du Rio Mamoré.

7.3. Comparaison.

La présence du domaine andin dans le bassin du Rio Madeira marque très nettement le flux de matières particulaires, qui est 7 fois plus fort que celui du Congo. Le taux de production (ou transport) de matières solides est 30 fois supérieur pour le Rio Madeira à Villabella, avec une valeur moyenne de 250 t.km².an⁻¹.

L'évolution saisonnière des matières particulaires dans le Rio Madeira est très marquée, avec des valeurs minima en période d'étiage, et maxima lors de la montée des eaux. La décrue, alimentée par la vidange des zones d'inondation, présente des teneurs plus faibles (Figure 4B). Pour le Congo, la variation des teneurs reste limitée, et aucune évolution particulière n'apparaît au cours du cycle hydrologique (Olivry et al., 1988).

8. CONCLUSION.

Les résultats de cette étude comparative montrent que les deux grands fleuves tropicaux présentent des comportements hydrologiques très différents, dus principalement à la situation particulière du bassin du Congo de part et d'autre de l'équateur. Les variations saisonnières sont beaucoup plus marquées sur le Rio Madeira à Villabella que sur le Congo à Brazzaville. Le rapport des coefficients de variation (Tableau II) montre que la variabilité temporelle est toujours plus forte sur le Madeira, qu'il s'agisse des débits (facteur 3), des matières dissoutes (facteur 2), ou des matières particulaires (facteur 5).

Tableau II

Matières dissoutes minérales (MD) et matières particulaires (MP) des bassins du Congo (1987-1992) et du Rio Madeira (1983-1989). [cv=coefficient de variation des moyennes mensuelles, QD=flux de MD, QP=flux de MP]

	MD (mg.l ⁻¹)	cv	QD (10 ⁶ t.an ⁻¹)	cv	MP (mg.l ⁻¹)	cv	QP (10 ⁶ t.an ⁻¹)	cv
Congo à Brazzaville	36	0.07	42	0.28	26	0.09	31	0.23
Madeira à Villabella	78	0.17	39	0.52	348	0.59	223	0.91

Alors que le Congo et le Rio Madeira reçoivent des précipitations du même ordre de grandeur, l'écoulement relatif est nettement plus important pour le Rio Madeira (Fig.5). Cette différence de ruissellement peut provenir; d'une part d'un régime des précipitations différent, d'autre part du rôle de la partie andine dans le bassin du Rio Madeira. Cette différence s'accroît nettement dans le cas des flux de matières transportées, du fait de la forte altération chimique et de l'érosion mécanique de la chaîne andine. Ainsi, 1 km² du bassin du Rio Madeira produit 2 fois plus d'eau, 4 fois plus de matières dissoutes, et 30 fois plus de matières particulaires que 1 km² du bassin du Congo.

Ces résultats seront précisés par la poursuite de l'opération PEGI sur le Congo, et le démarrage de l'échantillonnage en Amazonie brésilienne.

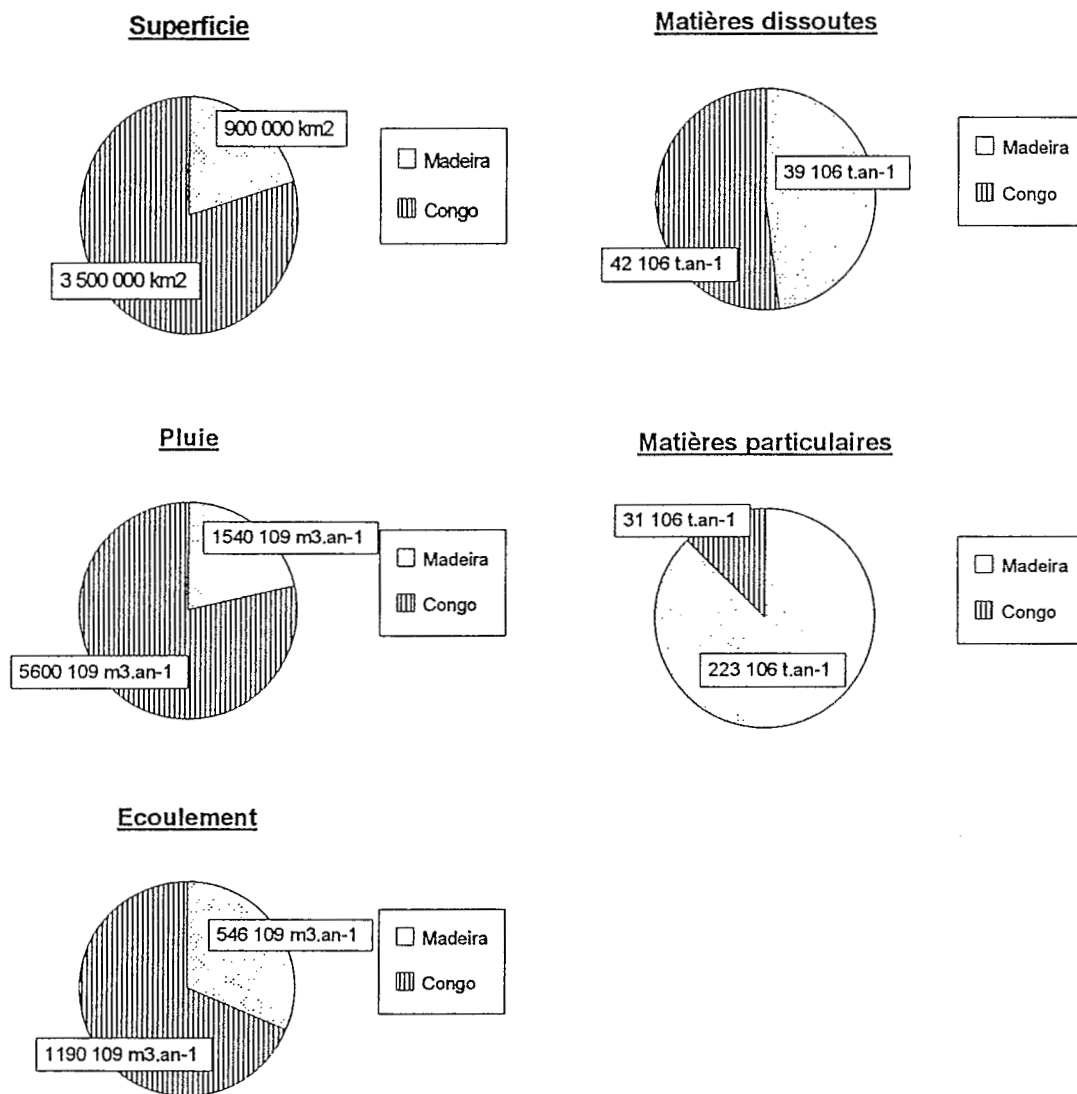


Figure n° 5

Comparaison des caractéristiques hydrologiques et des flux de matières du Congo à Brazzaville (1987-1992) et du Rio Madeira à Villabella (1983-1989).

9. REMERCIEMENTS.

Nous tenons à remercier tous nos collègues congolais et boliviens, sans lesquels ces programmes de recherche n'auraient pas vu le jour.

Le SENAMHI (service national bolivien de météorologie et d'hydrologie) a joué un rôle clé dans le bon déroulement du programme PHICAB. Nous remercions sincèrement les responsables successifs du service hydrologique, Nestor ABASTO et Jose CORTEZ, ainsi que Héctor CALLE pour ses innombrables déterminations de MES. L'Institut d'Hydraulique et d'Hydrologie (IHH) et l'Institut de Recherche en Chimie (IIQ) de l'Université 'San Andres' de La Paz (UMSA) ont largement contribué à la réussite du PHICAB en fournissant étudiants et chercheurs au programme. Tous nos remerciements vont donc naturellement vers les directeurs respectifs de ces deux instituts, Carlos FERNANDEZ puis Jorge MATTOS et Jorge QUINTANILLA.

10. REFERENCES.

- Abasto, N., 1987. Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Madre de Dios, Amazonia, Bolivia. Tesis UMSA. Publ. PHICAB, La Paz, 260 p.
- Bourges, J., 1987. Projet de Cachuela Esperanza, étude sommaire des apports. Publ. PHICAB, La Paz, 20 p.
- Bourges, J., Cortes, J., Hoorelbecke, R., 1987. Etude des débits du Río Mamoré à Guayaramerin. Publ. PHICAB, La Paz, 26 p.
- Bourges, J., Guyot, J.L., Carrasco, M., Cortes, J., 1990. Evolution spatio-temporelle des débits et des matières particulaires sur un bassin des Andes boliviennes : le Río Béni. Hydrology in Mountainous Area, Lausanne, Sept. 1990. IAHS Publ. 193 : 352-356.
- Bricquet, J.P., 1991. Les exportations du Bassin du Congo de 1987 à 1990. Communication Coll. PIRAT, Strasbourg, 25/03/1991.
- Cruz, C., 1987. Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Itenez, Amazonia, Bolivia, Brasil. Tesis UMSA. Publ. PHICAB, La Paz, 216 p.
- Deronde, L., Symoens, J.J., 1980. L'exportation des éléments dominants du bassin du fleuve Zaïre : une réévaluation. Annls Limnol., 16(2) : 183-188.
- Espinoza, O., 1985. Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Beni, Amazonia, Bolivia. Tesis UMSA. Publ. PHICAB, La Paz, 181 p.
- Garcia, W., 1985. Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Mamoré, Amazonia, Bolivia. Tesis UMSA. Publ. PHICAB, La Paz, 110 p.
- Guyot, J.L., 1992. Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie bolivienne. Thèse Doc., Univ. Bordeaux, 362 p.
- Guyot, J.L., Calle, H., 1990. Utilisation des mesures journalières de la turbidité pour l'estimation des flux de matières en suspension. Hydrology in Mountainous Area, Lausanne, Sept. 1990. IAHS Publ. 193 : 271-274.
- Guyot, J.L., Bourges, J., Hoorelbecke, R., Roche, M.A., Calle, H., Cortes, J., Barragan, M.C., 1988. Exportation de matières en suspension des Andes vers l'Amazonie par le Río Béni, Bolivie. Sediment Budgets, Porto Alegre, déc. 1988, IAHS Publ.°174 : 443-451.
- Guyot, J.L., Bourges, J., Calle, H., Cortes, J., Hoorelbecke, R., Roche, M.A., 1989. Transport of suspended sediments to the Amazon by an andean river : the River Mamore, Bolivia. River Sedimentation, Beijing, Nov. 1989. IRTCES Publ. : 106-113.
- Guyot, J.L., Jouanneau, J.M., Quintanilla, J., Wasson, J.G., 1993. Les flux de matières dissoutes et particulaires exportés des Andes par le Río Béni (Amazonie bolivienne), en période de crue. Geodinamica Acta, 6(4) : 233-241.
- Kinga Mouzeo, 1986. Transport particulaire actuel du fleuve Congo et quelques affluents. Thèse Doc., Univ. Perpignan, 262 p.

- Laraque, A., Bricquet, J.P., Olivry, J.C., Berthelot, M., in press. Export of matter from the Congo River (PEGI Programme). Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries, Niteroi, Nov 93.
- Meybeck, M., 1984. Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse doc. d'Etat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris 6, 558 p.
- Molinier, M., 1979. Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., XVI(1) : 55-66
- Moukolo, N., Bricquet, J.P., Biyedi, J., 1990. Bilans et variations des exportations de matières sur le Congo à Brazzaville, de Janvier 1987 à Décembre 1988. Hydrol. continent., 5(1) : 41-52.
- Nkounkou, R.R., 1989. Hydrogéodynamique actuelle du Congo et de l'Amazonie. Cycle global de l'eau et bilan de l'érosion au cours des temps phanérozoïques. Thèse Doc., Univ. Strasbourg, 192 p.
- Olivry, J.C., 1986. Opération "Transports de matières sur le bassin du fleuve Congo". Rapp. ORSTOM, Brazzaville, 45 p.
- Olivry, J.C., Bricquet, J.P., Thiébaux, J.P., Sigha N., 1988. Transport de matières sur les grands fleuves des régions intertropicales : Les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo. Sediment Budgets, Porto Alegre, déc. 1988, IAHS Publ.°174 : 509-521
- Probst, J.L., Nkounkou, R.R., Krempp, G., Bricquet, J.P., Thiébaux, J.P., Olivry, J.C., 1992. Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangi rivers during the period 1987-1989. Journal of Hydrology, 135 : 237-257.
- Roche, M.A., Fernandez, C., 1988. Water resources, salinity and salt yields of the rivers of the Bolivian Amazon. Journal of Hydrology, 101 : 305-331.
- Roche, M.A., Aliaga, A., Campos, J., Peña, J., Cortes, J., Rocha, N., 1990. Hétérogénéité des précipitations sur la cordillère des Andes boliviennes. Hydrology in Mountainous Area, Lausanne, Sept. 1990. IAHS Publ. 193 : 381-388.
- Roche, M.A., Fernandez, C., Aliaga, A., Peña, J., Salas, E., Montañó, J.L., 1992. Balance hídrico superficial de Bolivia. Publ. PHICAB, La Paz, 16 p.
- Sigha, K., Bricquet, J.P., 1987. Un exemple méthodologique de la mesure de flux particulières et dissous des fleuves d'Afrique Centrale : Transports de matières sur le Congo à Brazzaville. Premiers résultats 1986-1987. Publ. ORSTOM-INSU, Montpellier, 25 p.