

## CHIMIE DES EAUX DU FLEUVE CONGO A BRAZZAVILLE ET DE L'OUBANGUI A BANGUI (ANNEES 1988 A 1992)

F. Sondag, A. Laraque & C. Riandey

### INTRODUCTION

Cette note fait le point sur la méthodologie et les résultats analytiques obtenus sur les matières minérales dissoutes du Congo et de l'Oubangui. Cette contribution complète les travaux d'autres laboratoires collaborant au Programme "Environnement Géosphère Intertropicale" (PEGI). On se référera en particulier aux travaux de Bricquet et al. (1994), Laraque et al. (1994) et Orange et al. (1994) pour tout ce qui concerne l'hydrologie et les flux particuliers.

Dans le cadre du programme PIRAT, devenu ensuite PEGI, l'étude des variations de la composition chimique de la matière minérale dissoute a débuté en 1987. Les résultats présentés ici portent sur les années 1988 à 1992, soit cinq années complètes. En effet, les données de 1987, moins fiables sur le plan analytique pour plusieurs éléments, n'ont pas été intégrées dans l'interprétation pour des raisons de cohérence.

### I METHODOLOGIE ANALYTIQUE

Pour Brazzaville, les échantillons analysés proviennent des prélèvements mensuels réalisés sur la section de Maluku, en amont du Stanley Pool. Ils correspondent à des aliquotes recueillis après filtration à 50  $\mu\text{m}$  et centrifugation en continu (centrifugeuse de type "Sharpless", vitesse de rotation 35 000  $\text{t min}^{-1}$  soit une coupure équivalente à 0,4 - 0,5  $\mu\text{m}$ ). Pour l'Oubangui, les prélèvements sont effectués mensuellement un peu en amont de Bangui; un échantillon moyen, préparé à partir des prélèvements à cinq profondeurs, est filtré à 0,45  $\mu\text{m}$  sur filtre en acétate de cellulose.

#### pH et conductivité électrique

Les mesures sont faites in situ puis au laboratoire, généralement relativement longtemps après le prélèvement. Il existe des différences sensibles avec les valeurs "in situ". On constate que les pH mesurés au laboratoire sont dans l'ensemble inférieurs aux pH mesurés "in situ". Cela pourrait résulter du dégazage de  $\text{CO}_2$  entre les deux mesures.

#### Alcalinité

La première année (1987), l'alcalinité a été déterminée par la méthode volumétrique au méthyl orange. En raison de son imprécision sur ces eaux pauvres, il a été fait appel à partir de 1988 à une méthode titrimétrique (titrimètre METROHM). Des recoupements de mesures du même échantillon à des temps variables après prélèvement, montrent que si l'alcalinité varie à l'origine, elle est remarquablement stable ensuite. En effet, des mesures effectuées 16h, 3 jours puis 1 mois après le prélèvement sur des échantillons prélevés en aval de Brazzaville n'ont pas montré de différences significatives de ce paramètre.

Les pH étant inférieurs à 8,3, les carbonates sont absents, et il n'y a que des bicarbonates. Leur analyse est importante, car bien que leur teneur absolue soit relativement faible, ils sont cependant les ions dominants et leur concentration égale presque la somme des anions. Leur détermination conditionne donc l'obtention de balances ioniques satisfaisantes.

#### Chlorures, nitrates, sulfates

Les chlorures ont été dosés en 1987 par colorimétrie automatique (TECHNICON) avec le thiocyanate mercurique. Ensuite ils ont été déterminés en même temps que les autres anions par chromatographie ionique. Les résultats des deux méthodes sont analogues.

Au départ, les nitrates étaient analysés par colorimétrie automatique après réduction par passage à travers une colonne cadmium-cuivre, puis dosage de l'azote par formation du complexe azoïque. En chromatographie ionique, ils sont dosés en utilisant la plus haute sensibilité.

Néanmoins, ils sont souvent inférieurs à la limite de détection. Il faut aussi rappeler que ces ions doivent être déterminés rapidement, car il est bien connu qu'ils évoluent vite.

Les sulfates ont été dosés en 1987 par néphélométrie. En raison d'interférences importantes, notamment de la matière organique, il s'est avéré qu'ils étaient assez largement surdosés. Le passage à la chromatographie ionique a permis de résoudre ce problème.

Le chromatographe DIONEX 2010i utilisé est équipé d'une colonne anionique AS4A. L'éluant est un mélange  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1,8 mM -  $\text{NaHCO}_3$  1,7 mM. L'injection se fait au travers d'une cartouche-filtre SEP-PAK<sup>®</sup> C18 (Millipore) pour l'élimination des matières organiques. On injecte 2ml filtrés à 0,2  $\mu\text{m}$ . La station d'acquisition est un intégrateur SHIMADZU.

#### Cations

K et Na sont classiquement déterminés par spectrométrie d'émission de flamme sans ajout de tampon d'ionisation. Mg et Ca sont dosés par spectrométrie d'absorption atomique avec addition de 0,5 % de lanthane, respectivement en flamme air-acétylène et protoxyde d'azote-acétylène.

La silice a été analysée par spectrométrie d'émission de plasma (ICP) à la longueur d'ondes de 288,158 nm.

## II. RESULTATS ET INTERPRETATION

### Variations inter annuelles

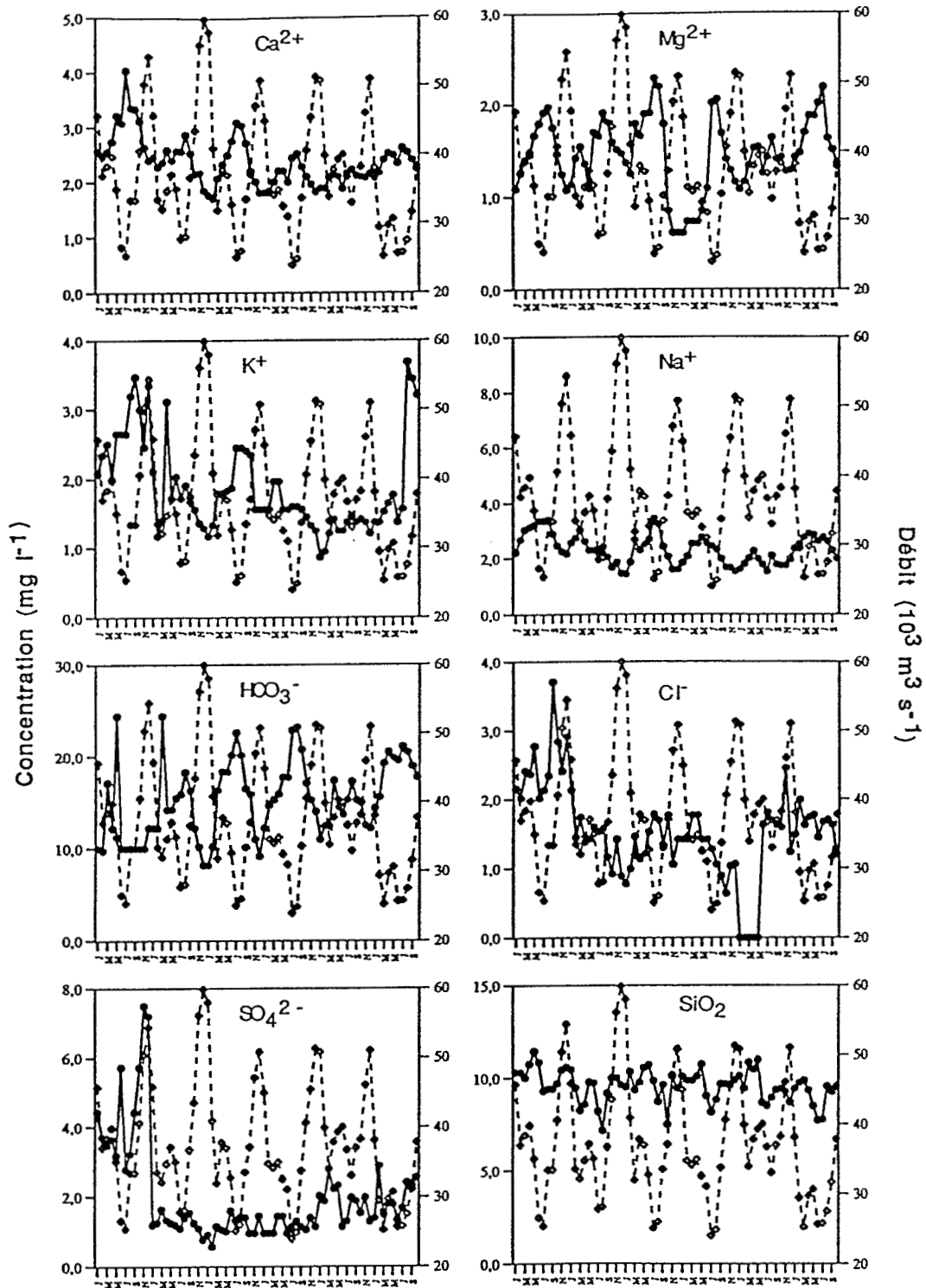
#### Congo à Brazzaville

Les variations mensuelles des concentrations en éléments majeurs sont corrélés négativement avec le débit. Ce fait est surtout remarquable pour les bicarbonates (Fig. 1) qui, avec une concentration moyenne de  $\pm 16 \text{ mg L}^{-1}$ , représentent l'anion dominant. Les sulfates et chlorures sont moins abondants ( $\pm 2 \text{ mg L}^{-1}$ ) alors que les nitrates sont en général non significatifs, sauf dans quelques prélèvements qui pourraient correspondre à des épisodes de nitrification ponctuelle. Pour ce qui est des cations, on observe des concentrations pratiquement équivalentes en Ca, Mg, Na et K, entre 2 et 2,5  $\text{mg L}^{-1}$  en moyenne. La silice est présente à des teneurs de l'ordre de 10  $\text{mg L}^{-1}$  en moyenne et varie beaucoup moins que les autres éléments minéraux; son coefficient de variation (Tableau 1) est de l'ordre de 9%. Les autres ions ont un coefficient de variation voisin de 20 - 30 % alors que les débits varient de plus de 100 %. La décroissance des teneurs inversement au débit est significative pour Na, Mg, Ca, et  $\text{HCO}_3$  (Fig. 2) et suit une loi logarithmique; pour la silice, on observe une relation positive avec le débit qui n'est toutefois pas significative sur le plan statistique.

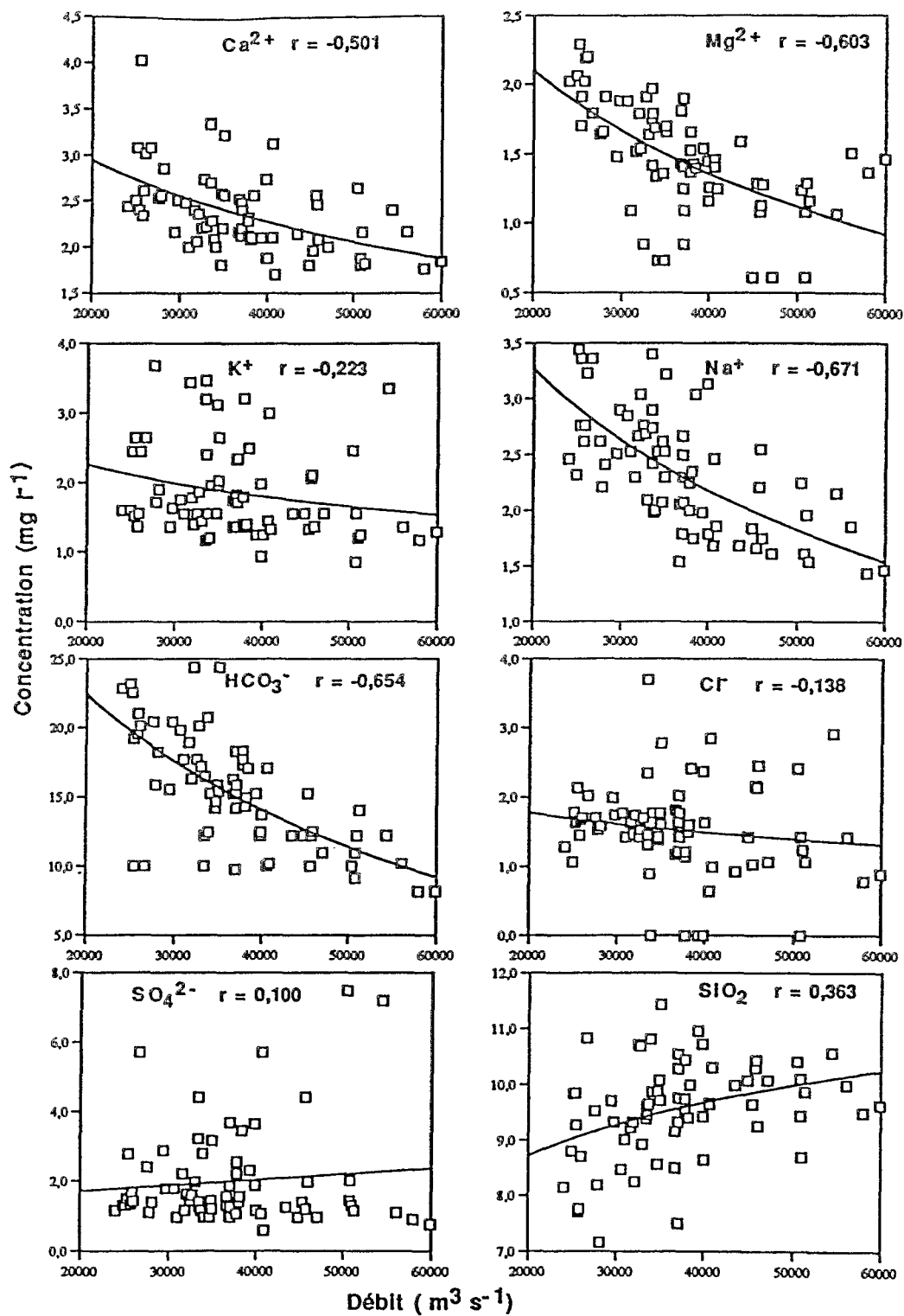
La charge minérale dissoute totale ("TDS" =  $\text{SiO}_2$  + cations + anions) est bien corrélée avec la conductivité ( $r = 0,83$ ). Elle varie de 15 à 50  $\text{mg L}^{-1}$ , avec une moyenne d'environ 36  $\text{mg L}^{-1}$ ; elle correspond à un flux de 0,93 à 2,29  $\text{T s}^{-1}$ , avec une moyenne de 1,34  $\text{T s}^{-1}$ . Ceci donne une exportation annuelle de 42,3  $10^6 \text{ T}$ , soit une valeur assez proches des moyennes calculées par Probst et al. (1992), qui indiquent de 41,54 à 41,69  $10^6 \text{ T}$  pour les années 1987 à 1989, mais plus élevée que les 36  $10^6 \text{ T}$  donnés par Meybeck (1979).

Tableau n°1  
Congo en amont de Brazzaville : moyenne arithmétique, déviation standard et coefficient de variation des paramètres physico-chimiques

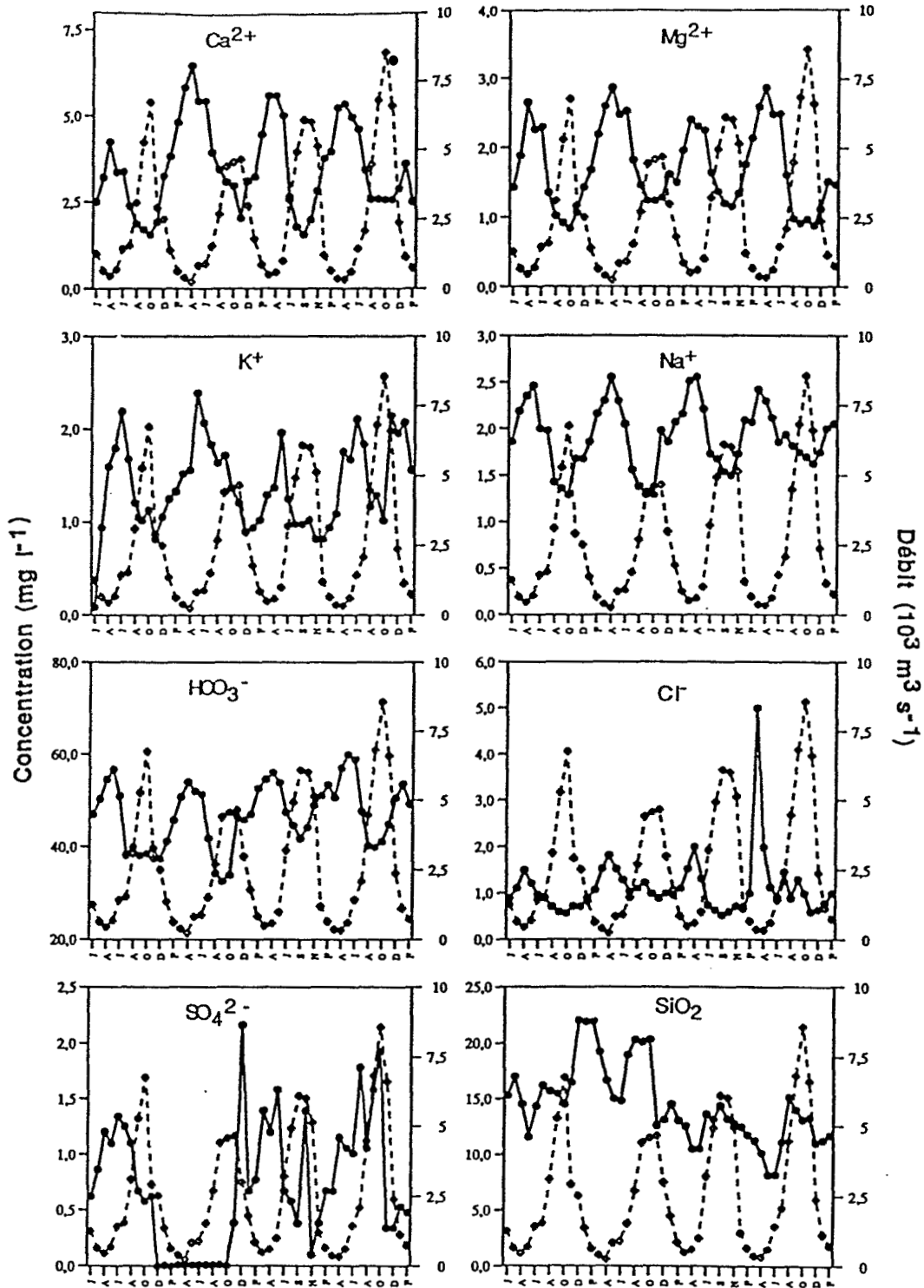
	Cond.	pH	Ca	Mg	K	Na	$\text{HCO}_3$	Cl	$\text{NO}_3$	$\text{SO}_4$	$\text{SiO}_2$
	mS		$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$
Nb mesures	56	57	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Moyenne	37.52	7.01	2.22	1.43	1.68	2.20	15.71	1.31	0.40	1.43	9.40
Dév. Std	7.17	0.56	0.39	0.44	0.59	0.49	4.11	0.53	1.44	0.52	0.83
C.V. %	19.1	7.9	17.6	30.8	35.4	22.4	26.1	40.6	361.4	36.6	8.8



**Figure 1**  
Congo en amont de Brazzaville: variations mensuelles des éléments majeurs (traits pleins)  
et des débits (traits pointillés) de 1988 à 1992



**Figure 2**  
Congo en amont de Brazzaville: relations débit - concentration en éléments majeurs



**Figure 3**  
Oubangui à Bangui: variations mensuelles des éléments majeurs (traits pleins) et des débits (traits pointillés) de 1988 à 1992

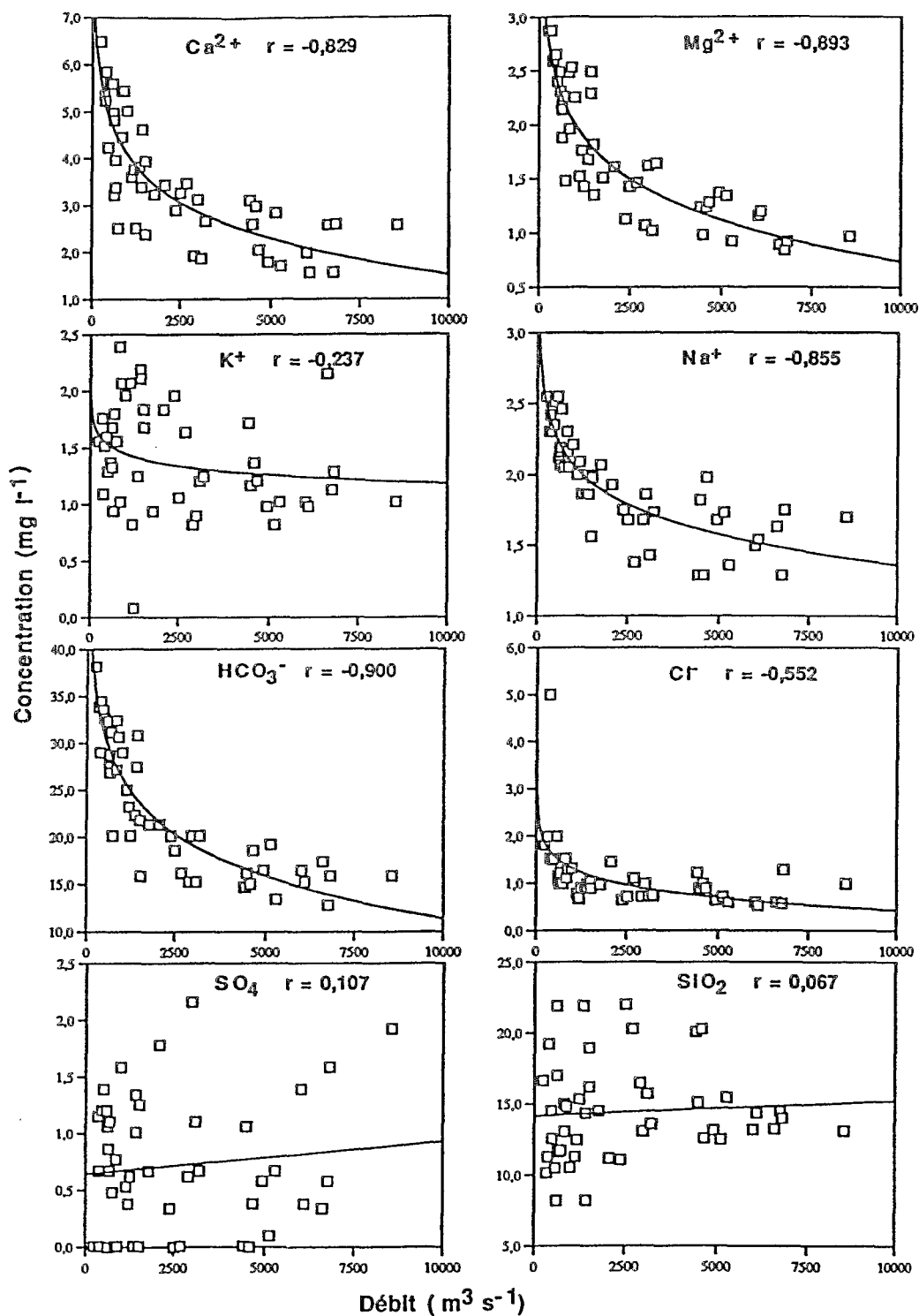


Figure 4  
Oubangui à Bangui: relations débit - concentration en éléments majeurs

## Oubangui à Bangui

Ici aussi, les variations varient inversement au débit, tant pour les anions que pour les cations (Fig. 3). Les concentrations en calcium (de 2 à 6 mg L<sup>-1</sup>) sont nettement supérieures à celles des autres cations (entre 1 et 2 mg L<sup>-1</sup>). Pour les anions, les bicarbonates dominent largement (de 15 à 35 mg l<sup>-1</sup>). Les teneurs en silice ont quant à elles tendance à diminuer depuis 1990; on est ainsi passé d'un maximum de ± 20 mg L<sup>-1</sup> lors des basses eaux de 1990 à moins de 15 mg l<sup>-1</sup> en 1992. Cette décroissance est peut-être à mettre en relation avec la période de sécheresse observée depuis le début des années 80 sur le bassin (Orange et al., 1994) qui entraînerait une diminution de l'érosion, particulièrement sensible en raison de la dominance de la savane. La décroissance des teneurs selon une loi logarithmique s'applique très bien pour les cations (Fig. 4), à l'exception de K, et pour les bicarbonates et les chlorures. On obtient pour ces majeurs des coefficients de corrélation très significatifs, compris entre 0,80 et 0,90. Les pH sont toujours légèrement basiques, surtout en période de basses eaux où l'on observe des valeurs allant de 7,6 à 7,8 alors qu'en crue on descend à 7,2. Ce phénomène peut s'expliquer par la dilution des bicarbonates lors des hautes eaux. Cette observation rejoint celle de Gac (1980) sur le bassin amont du lac Tchad et est également à rapprocher de la dominante de savane dans le bassin alors que sous forêt le phénomène inverse s'observe (Grimaldi, 1988, Seyler et al., 1993).

Par ailleurs, il semble que les teneurs maximales en certains éléments lors des basses eaux soient d'autant plus élevées que la crue précédente a été plus importante. Pour les années 1989, 1991 et 1992, la corrélation entre les débits des deux mois de crue et les concentrations des deux mois d'étiage (Fig. 5) présente en effet des coefficients significatifs (seuil de signification à 0,975 = 0,80) pour Mg (0,91) et K (0,79); pour Ca et HCO<sub>3</sub>, la même tendance se dessine bien que les corrélations ne soient pas statistiquement significatives (coefficients de 0,44 et 0,59 respectivement). En 1990 par contre, cette corrélation ne s'est pas vérifiée.

Tableau n° 2

Oubangui à Bangui : moyenne arithmétique, déviation standard et coefficient de variation des paramètres physico-chimiques

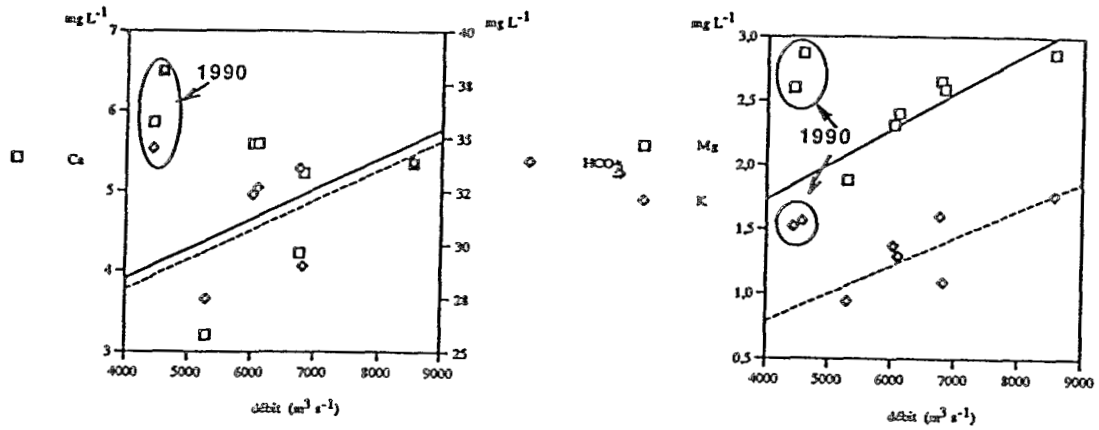
	Cond.	pH	Ca	Mg	K	Na	HCO <sub>3</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>
	mS		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
Nb mesures	46	46	46	46	46	46	46	46	23	46	46
Moyenne	46.70	7.43	3.53	1.73	1.42	1.92	23.09	1.12	0.69	0.72	14.40
Dév. Std	11.88	0.28	1.32	0.61	0.44	0.36	7.11	0.69	0.44	0.59	3.51
C.V. %	25.4	3.8	37.2	35.2	30.8	18.5	30.8	61.3	63.7	82.3	24.4

Les balances ioniques obtenues sur les eaux de l'Oubangui indiquent généralement un bon équilibre ou un léger excès de charges positives, sauf en périodes de hautes eaux où apparaît un net déficit de charges positives (-10 à -12 % soit environ 50 µeq L<sup>-1</sup>). Ce phénomène pourrait être lié à l'augmentation des MES à cette période, et en particulier à celle du carbone organique particulaire, dont les charges négatives pourraient adsorber des quantités plus importantes de cations.

La charge minérale dissoute totale varie de 33 à 70 mg l<sup>-1</sup>, avec une moyenne d'environ 48 mg l<sup>-1</sup>; cette charge est très bien corrélée négativement avec les débits ( $r = 0,87$ ). Les eaux de l'Oubangui sont donc plus chargées que celles du Congo et les quantités transportées fluctuent nettement davantage: cela correspond à des flux de 17 à 330 kg s<sup>-1</sup>, avec une moyenne de 106 kg s<sup>-1</sup>. En bilan annuel, on obtient 3,35 10<sup>6</sup> T.

### Composition des eaux

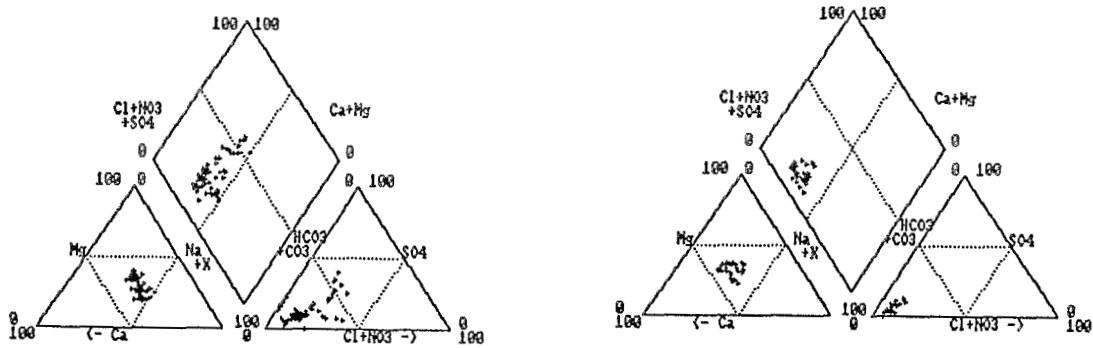
Les diagrammes de Piper (Fig. 6) permettent de qualifier la composition des eaux du Congo et de l'Oubangui de "calci-magnésiennes mixtes". Ils font bien ressortir la stabilité de la composition des eaux, tant à Brazzaville qu'à Bangui. Ces dernières sont toutefois plus calci-magnésiennes alors qu'à Brazzaville les eaux sont plus proches du pôle Na + K et sont plus dispersées quant à leur composition anionique. Les teneurs plus élevées en calcium et magnésium des eaux de l'Oubangui peuvent être mises en relation avec la présence de formations carbonatées dans le Précambrien de Centrafrique et l'occurrence de paléo-krypto-karsts qui y est signalée par Boulvert et Salomon (1988).



**Figure 5**  
Oubangui à Bangui: relation entre le débit des deux mois de crue et la concentration en éléments dissous pour les deux mois d'étiage suivant

[a]

[b]



**Figure 6**  
Diagrammes de Piper des eaux du Congo en amont de Brazzaville (a) et de l'Oubangui à Bangui (b)



Sur le Congo, les bicarbonates représentent en moyenne 42% des TDS (Fig. 7a) et la silice 26%. Ces proportions varient assez largement selon le régime hydrologique puisque les bicarbonates passent de 30 - 35% pendant la crue (Fig. 7b) à  $\pm 50\%$  à l'étiage (Fig. 7c) alors que dans le même temps la silice évolue en sens inverse et passe de 38% à moins de 20%. Les pourcentages des autres éléments sont plutôt stables autour de 4 - 6%, quelle que soit la période de l'année.

Pour l'Oubangui (Fig. 8a), les proportions moyennes de bicarbonates et de silice sont de respectivement 48% et 30%, soit plus des trois quarts des matières minérales dissoutes. Elles varient largement selon le régime hydrique: de plus de 50% aux basses eaux pour les bicarbonates on passe à environ 40% lors des crues (Fig. 8b) alors que les proportions de silice augmentent dans le même temps de 20% à 45%. Il est à noter que sur l'Oubangui, le pourcentage de cations varie également d'un facteur 2 selon la saison, avec des proportions plus élevées en Ca (9%) et Mg (4%) à l'étiage qu'en crue (4% et 2,5% respectivement).

### III DISCUSSION

Les résultats acquis au cours de ces cinq années de suivi des eaux du Congo et de l'Oubangui font bien ressortir la stabilité de leur composition chimique en éléments majeurs dissous dont les concentrations suivent assez fidèlement le cycle hydrologique. Les eaux de ces fleuves transportent essentiellement sous forme dissoute des bicarbonates, issus en grande partie de la dissolution du  $\text{CO}_2$  atmosphérique, et de la silice.

Les eaux du Congo sont particulièrement peu chargées en éléments minéraux dissous; la moyenne des TDS,  $36 \text{ mg L}^{-1}$  (Tableau 3), est largement inférieure à la moyenne mondiale des eaux de rivière, qui est de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  (Berner and Berner, 1987), ainsi qu'à la moyenne des rivières africaines ( $\pm 60 \text{ mg L}^{-1}$ ). Cela est principalement dû aux teneurs relativement faibles en bicarbonates ( $15,7 \text{ mg L}^{-1}$  contre  $26,9 \text{ mg L}^{-1}$  pour les rivières africaines et environ  $100 \text{ mg L}^{-1}$  pour la moyenne mondiale) et en calcium ( $2,2 \text{ mg L}^{-1}$  contre respectivement  $5,7$  et  $13,4 \text{ mg L}^{-1}$ ). Pour la silice par contre, la concentration moyenne ( $9,4 \text{ mg L}^{-1}$ ) est voisine de la moyenne mondiale ( $10,4 \text{ mg L}^{-1}$ ). Cette faible charge minérale dissoute correspond à une dynamique de bassin aplani, protégé par un couvert forestier dense où l'érosion mécanique est ralentie et où l'altération (bio)géochimique agit sur un substratum déjà en grande partie lessivé.

Les eaux de l'Oubangui sont par contre plus chargées avec des valeurs en calcium, magnésium, bicarbonate et silice plus proches de la moyenne des rivières africaines (Tableau 3). Ceci peut s'expliquer par la dominance de savane dans le bassin avec comme conséquence une altération plus intense sur le socle précambrien granito-gneissique. Les concentrations particulièrement faibles en chlorures et sulfates sont à rapprocher du caractère exclusivement continental du bassin de l'Oubangui. Ainsi que signalé précédemment, les concentrations plus élevées en calcium et bicarbonate sont également à mettre en relation avec un apport des formations carbonatées. Ces apports et l'influence de crypto-karsts expliqueraient par ailleurs que leurs teneurs aux basses eaux soient d'autant plus élevées que la crue précédente a été plus importante. On peut en effet imaginer que l'alimentation des karsts et les phénomènes de dissolution qui s'y produisent sont en relation directe avec le régime pluviométrique. Lors de l'étiage, le soutirage progressif de ce réservoir plus ou moins chargé se traduira par un apport plus ou moins important dans le bassin.

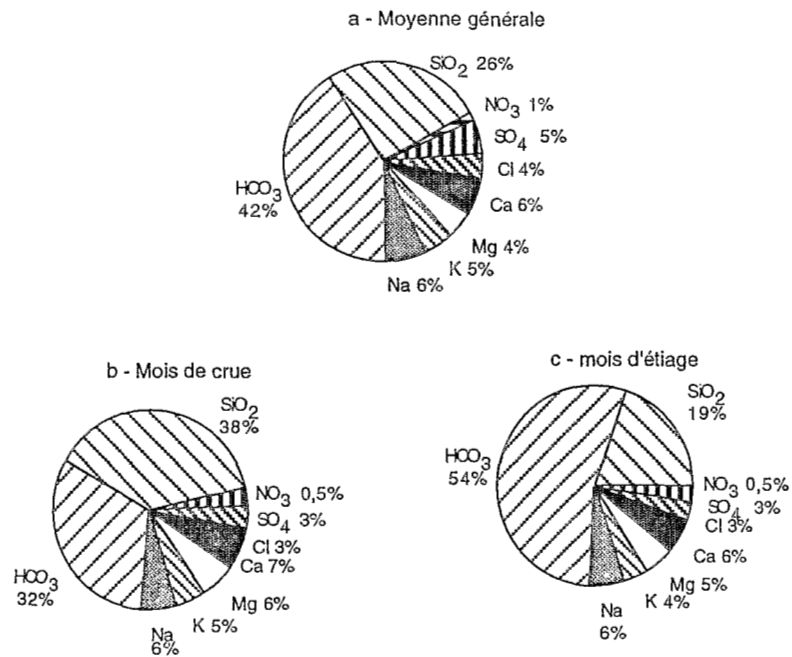


Figure 7

Congo en amont de Brazzaville: composition chimiques en terme de pourcentage des espèces inorganiques dissoutes. (a): moyenne des années 1988 - 1992; (b): moyenne des mois de crues; (c): moyenne des mois d'étiage

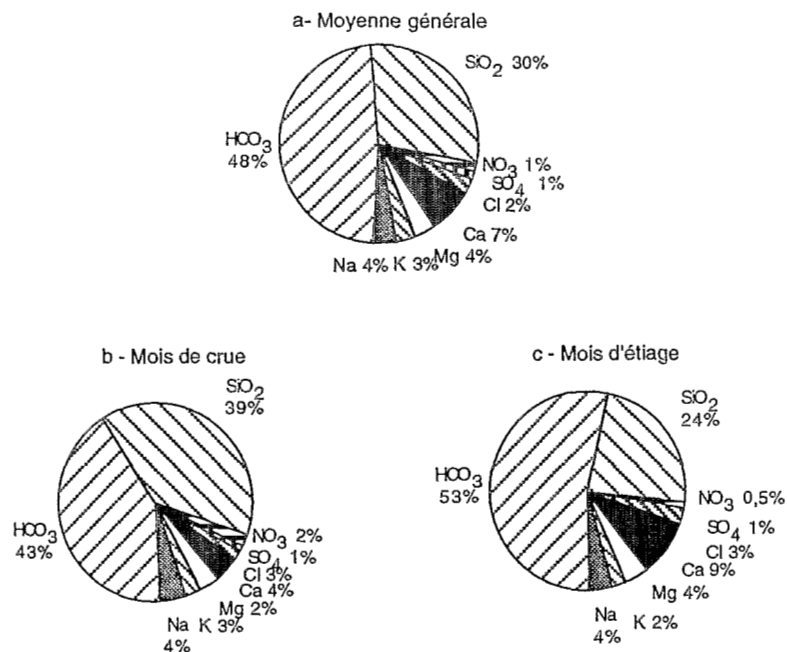


Figure 8

Oubangui à Bangui: composition chimiques en terme de pourcentage des espèces inorganiques dissoutes. (a): moyenne des années 1988 - 1992; (b): moyenne des mois de crues; (c) moyenne des mois d'étiage

## BIBLIOGRAPHIE

- Berner, E. K. and Berner, R. A., 1987. The global water cycle. Geochemistry and environment. Prentice Hall, 397 p.
- Boulvert, Y. et Salomon, J. N., 1988. Sur l'existence de paléo-krypto-karsts dans le bassin de l'Oubangui (République Centrafricaine). *Karstologia*, 11/12, 37-48.
- Bricquet, J.P., Laraque, A. et Olivry, J.C., 1994. Les écoulements du Congo à Brazzaville et la spatialisation des apports. Colloques et Séminaires ORSTOM.
- Gac, J. Y., 1980. Géochimie du bassin du lac Tchad. Bilans de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation. *Trav. Doc. ORSTOM.*, 123, 251 p.
- Grimaldi, C., 1988. Origine de la composition chimique des eaux superficielles en milieu tropical humide: exemple de deux petits bassins versants sous forêt en Guyane Française. *Sci. Géol. Bull.*, 41: 247-262.
- Laraque, A., Bricquet, J.P., Berthelot, M. et Olivry, J.C., 1994. Les exportations de matières du fleuve Congo. Colloques et Séminaires ORSTOM.
- Meybeck, M., 1979. Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans. *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, 21, p. 215-246.
- Orange, D., Olivry, J.C. et Censier, C., 1994. Bilan et variations des flux de matières particulaires et dissoutes de l'Oubangui à Bangui ( de 1987 à 1992). Colloques et Séminaires ORSTOM.
- Probst, J. L., NKoukou, R. R., Krempp, G., Bricquet, J. P., Thiébaud, J. P. and Olivry, J. C., 1992. Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangi rivers during the period 1987 - 1989. *Journal of Hydrology*, 135, p. 237 - 257.
- Seyler, P., Olivry, J. C. and Nkamdjou, S., 1993. Hydrogeochemistry of the Ngoko River, Cameroon: chemical balances in a rainforest equatorial basin. *Proc. Symp. Hydrology of Warm Humid Regions*, Yokohama, July 1993. IAHS Publ. 21.