

# GÉOCHIMIE ET HYDROLOGIE DES EAUX DE SURFACE: EXEMPLE DU BASSIN DU FLEUVE CONGO

par

Renard-Roger NKOUNKOU, Gérard KREMPP et Jean-Luc PROBST

Centre de Géochimie de la Surface (C.N.R.S)  
1, rue Blessig, F-67084 STRASBOURG CEDEX.

## Résumé.

Sur la base d'un échantillonnage mensuel sur plusieurs années, on cherche à comprendre les variations temporelles de la qualité chimique des eaux du Congo et à établir les bilans des flux de matières exportées par le fleuve. Différentes techniques d'analyse chimique sont utilisées pour déterminer la composition chimique des eaux: colorimétrie ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), absorption atomique ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ), chromatographie liquide ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ ) et titration à l'acide ( $\text{HCO}_3^-$ ). Ces analyses chimiques révèlent la prédominance des ions bicarbonates, du calcium et de la silice parmi les substances minérales dissoutes. Les concentrations des éléments majeurs dissous sont en général diluées pendant les périodes de hautes eaux. Les résultats obtenus après trois années de mesures permettent d'évaluer le flux moyen annuel dissous à 40-44 millions de tonnes.

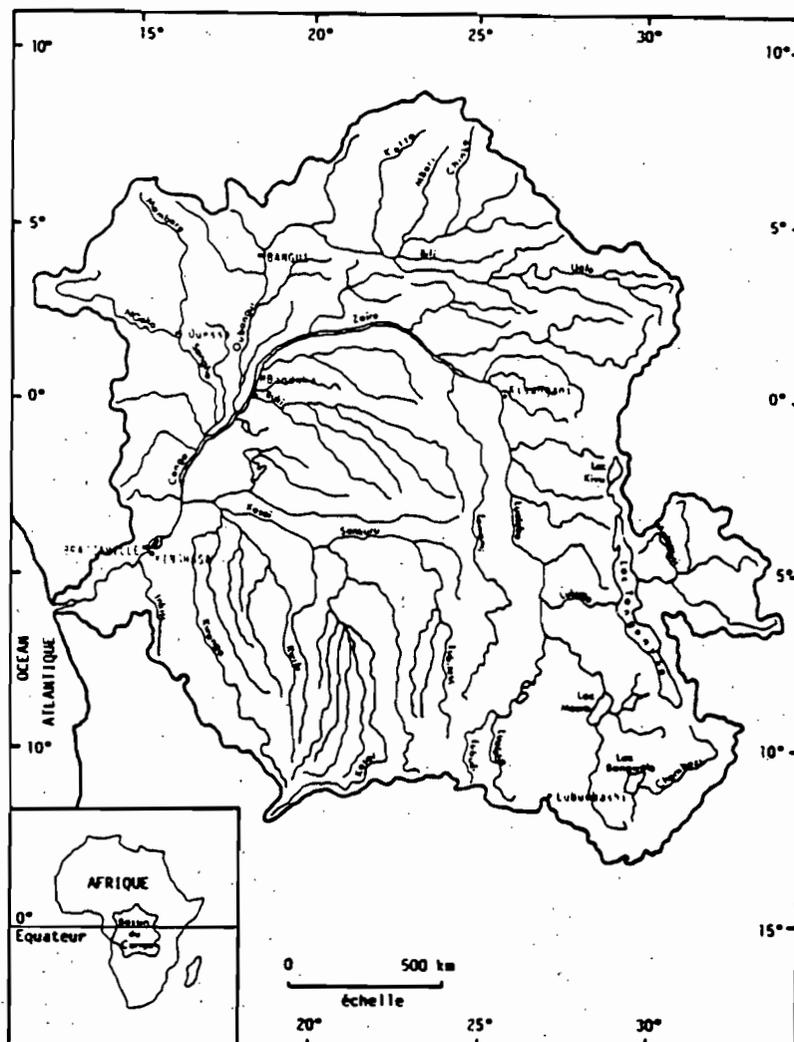
## 1 - Introduction.

Le fleuve Congo occupe le deuxième rang mondial après l'Amazone tant pour son débit liquide que pour l'extension de son réseau hydrographique. Malgré son importance, la géochimie des eaux du Congo n'a fait l'objet que d'études ponctuelles dans le temps. Peu d'études ont été consacrées au suivi des variations temporelles à l'échelle annuelle ou pluriannuelle. Cette lacune se trouve aujourd'hui comblée, car depuis 1987, un échantillonnage mensuel des eaux du Congo est en cours et permet donc de suivre les variations de la composition chimique des eaux. Ces mesures sont effectuées dans le cadre de l'"Opération Grands Bassins Fluviaux" du "Programme Interdisciplinaire de Recherche des Environnements Péri-Atlantiques" (PIRAT/GBF) de l'I.N.S.U./O.R.S.T.O.M. Nous présenterons ici les résultats obtenus au cours des années 1987-88-89 et les bilans annuels d'exportation des substances dissoutes.

## 2 - Présentation du bassin du Congo et hydrologie.

Le bassin du Congo couvre une superficie de 3.703.000 km<sup>2</sup> et se situe de part et d'autre de l'équateur, au centre du continent africain (fig. 1). Le Congo forme avec ses nombreux affluents un réseau hydrographique très dense qui draine une partie des territoires de 11 pays. Sa situation à cheval sur l'équateur fait que près de la moitié de sa superficie est couverte par la forêt équatoriale. D'autre part, l'opposition des saisons climatiques de part et d'autre de l'équateur confère au fleuve un régime hydrologique relativement régulier qui montre deux saisons humides d'inégale importance, alternant avec deux saisons sèches. Au cours de la période 1987-1989, les valeurs extrêmes des débits moyens mensuels observés à Brazzaville sont de 25.500 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en août 1987 et de 59.300 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en décembre 1988, soit un rapport entre les deux de 2,3. Au cours de ces trois années, le débit moyen annuel est

de  $38.500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ce qui est légèrement inférieur au débit moyen des 80 dernières années qui est de  $41.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Probst et Tardy, 1987).



**Figure 1:** Situation et présentation du bassin du Congo.

### 3 - Prélèvement des échantillons et méthodes d'analyses chimiques.

La station de prélèvement est située à une quarantaine de kilomètres en amont de Brazzaville, c'est-à-dire dans le couloir juste avant l'entrée dans le Pool Malebo où le fleuve s'étale en un véritable lac. Les prélèvements sont effectués chaque mois par le service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. de Brazzaville et le service des voies navigables du Congo. Conditionnés dans des flacons en polyéthylène, ces échantillons sont ensuite envoyés au laboratoire de chimie des eaux du Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg, pour le dosage des substances dissoutes. Les échantillons sont tout d'abord filtrés à  $0,45 \mu\text{m}$ , et les différents éléments majeurs sont dosés sur la filtrat de la manière suivante:

\* L'alcalinité est essentiellement constituée dans les eaux du Congo, par les bicarbonates. Elle est mesurée par titration à l'acide fort (HCl) à l'aide du dispositif de titration METTLER DL 40 RC équipé d'une électrode combinée pH permettant aussi la mesure du pH. La précision de la mesure est de 0,02 unité pH et 0,001 millimoles/l de  $\text{HCO}_3^-$ .

\* La conductivité électrique est mesurée avec le conductimètre HANNA HI 8633 et ramenée à 20°C, avec un étalonnage préalable sur des solutions titrées de KCl.

\* L'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) et la silice sont dosés par colorimétrie basée sur la photospectroscopie des complexes formés par  $\text{NH}_4^+$  avec le salicylate de sodium et du chlore et par  $\text{H}_2\text{SiO}_4$  avec le molybdate d'ammonium. La mesure se fait sur une chaîne automatique et informatisée TECHNICON. La sensibilité du dispositif est de 0,001 millimoles/l.

\* Les cations majeurs  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  sont analysés par absorption atomique avec une flamme air- $\text{C}_2\text{H}_2$  et un ajout de 0,5 % de La pour  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , et 0,2 % de  $\text{Cs}_2\text{O}$  pour  $\text{K}^+$ . Prochainement, les cations seront analysés par chromatographie liquide.

\* Les anions majeurs  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{NO}_3^-$  ont été d'abord analysés par colorimétrie jusqu'en juin 1987. Les résultats obtenus avec cette méthode se sont révélés surestimés, notamment en ce qui concerne les sulfates. En effet, dans le dosage colorimétrique des sulfates, en présence de matière organique, le barium est complexé par les anions organiques comme par les sulfates. L'acquisition d'un chromatographe DIONEX a permis de faire à partir de juillet 1987, parallèlement à la colorimétrie, un dosage par chromatographie liquide et par ICP, confirmant ainsi la surestimation du dosage colorimétrique. Il s'est avéré que les résultats obtenus par chromatographie liquide étaient assez bien corrélés aux dosages colorimétriques. Cette corrélation nous a permis de faire une estimation des teneurs des anions pour les premiers échantillons qui avaient été analysés par colorimétrie avant la mise en service du chromatographe DIONEX.

L'ensemble de ces méthodes d'analyse sont présentées dans le détail par Krempf (1988).

Les résultats d'analyses révèlent en général un déficit de charges anioniques qui peut atteindre 43 % pour certains échantillons, mais qui varie en moyenne autour de 22 %. Ce déficit peut probablement être attribué à des anions organiques car les eaux du Congo sont riches en matières organiques dissoutes. Le dosage ultérieur de ces matières organiques devrait permettre d'élucider ce problème.

#### 4 - Composition chimique des eaux du Congo.

Du point de vue ionique, la composition des eaux du Congo montre que  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont les cations dominants et ils représentent les deux tiers de la charge cationique totale. Les bicarbonates représentent l'essentiel de la charge anionique (80 à 90 %). Cette composition ionique classe les eaux du Congo parmi les des eaux bicarbonatées calciques qui représentent 95 % des cas pour les eaux de surface du monde (Gibbs, 1972).

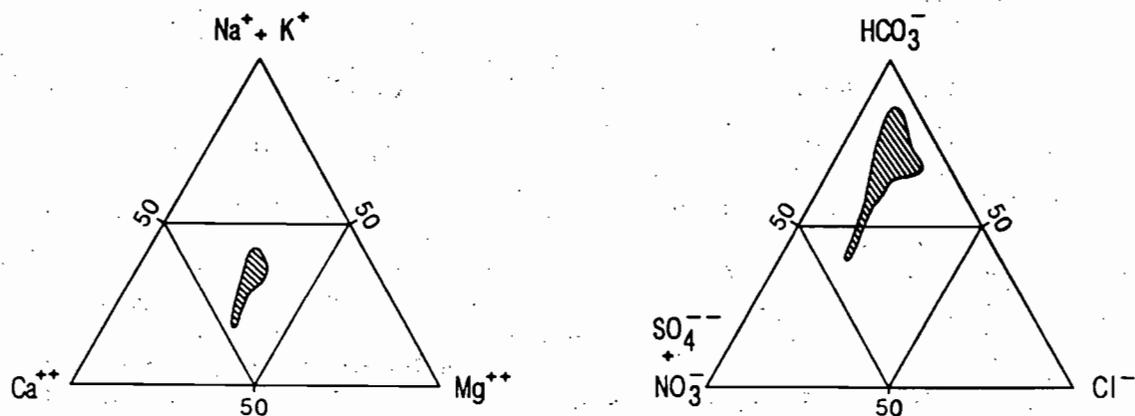
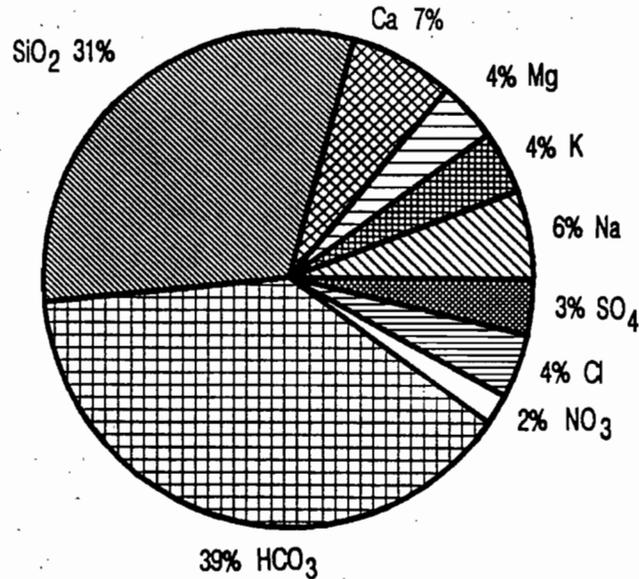


Figure 2: Représentation schématique de la composition ionique des eaux du Congo.

En ce qui concerne les cations, cette composition ionique est relativement stable d'un mois à l'autre, comme le montre le nuage de points sur le diagramme ternaire de Piper (fig. 2). Pour les anions, la forme plus allongée du nuage de points montre une variation mensuelle des proportions relatives de bicarbonates et de sulfates. La proportion des chlorures reste relativement constante.

En terme de charge pondérale dissoute, les eaux du Congo contiennent en moyenne 34 mg de substances minérales dissoutes par litre d'eau. Ce chiffre est relativement faible si on le compare à celui d'autres fleuves équatoriaux et tropicaux: Sénégal (43 mg/l; Orange, 1990); Niger (60,5 mg/l; Martins, 1982); Amazone (40 mg/l; Stallard et Edmond, 1983), et est cependant légèrement plus élevé que les 28 mg/l mesurés par Deronde et Symoens (1980) au terme d'une année complète. Cette charge dissoute relativement faible du Congo est due d'une part, aux abondantes précipitations qui tombent sur le bassin et qui ont un effet de dilution, et d'autre part à la nature des formations superficielles constituées essentiellement de sols ferrallitiques assez épais et relativement pauvres en bases échangeables et en minéraux altérables. Cet effet de dilution se remarque sur les trois années de mesure car la charge dissoute est plus faible en 1988, année au cours de laquelle le débit est plus élevé.



**Figure 3:** Représentation schématique de la composition chimique des eaux du Congo (en pourcentage de la charge pondérale minérale dissoute totale).

La charge dissoute est constituée pour près de 70 % par les ions bicarbonates et la silice (fig. 3). Mais il est important de noter que 76 % de ces bicarbonates proviennent du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et des sols qui est utilisé lors de l'altération chimique des roches du bassin (NKouunkou et Probst, 1987; Probst et al., soumis). Le reste des ions bicarbonates vient de la dissolution des carbonates qui affleurent dans le bassin et probablement aussi des paléo-crypto-karsts dont la présence a été signalée dans le bassin de l'Oubangui par Boulvert et Salomon (1988). D'une année sur l'autre, la composition chimique moyenne des eaux varie très peu (tableau I).

**Tableau I:** Caractéristiques physico-chimiques des eaux du Congo et flux annuels des substances dissoutes ( $Q_m$ =débit moyen annuel; Cond=conductivité à 20°C; TDS=charge minérale dissoute totale).

Années	$Q_m$	pH	Cond	Concentration en milligrammes par litre											TDS
	m <sup>3</sup> /s			$\mu$ S/cm	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
1987	40449	6.61	36.15	11.19	0.12	2.08	1.54	2.40	1.38	12.64	1.44	1.59	1.63	36.05	
1988	41482	6.92	31.24	9.67	0.01	1.86	1.26	2.31	1.33	12.97	1.07	0.12	1.34	31.97	
1989	40449	7.11	31.61	10.21	0.00	2.03	1.40	2.40	1.45	14.70	1.01	0.07	1.23	34.54	
Méthodes de calcul		Flux annuels dissous en millions de tonnes													
1987	Méthode n° 1	13.66	0.15	2.53	1.88	2.93	1.68	15.43	1.76	1.95	1.99	44.01			
1987	Méthode n° 2	13.67	0.15	2.54	1.88	2.93	1.68	15.44	1.76	1.95	2.00	44.03			
1987	Méthode n° 3											44.11			
1988	Méthode n° 1	11.95	0.01	2.28	1.55	2.84	1.63	15.91	1.30	0.14	1.64	39.30			
1988	Méthode n° 2	12.20	0.01	2.33	1.59	2.90	1.66	16.24	1.33	0.14	1.67	40.12			
1988	Méthode n° 3											39.95			
1989	Méthode n° 1	12.16	0.00	2.41	1.66	2.86	1.72	17.49	1.20	0.08	1.46	41.11			
1989	Méthode n° 2	12.29	0.00	2.44	1.68	2.89	1.74	17.68	1.21	0.08	1.48	41.55			
1989	Méthode n° 3											41.40			

### 5 - Variations mensuelles de la concentration en éléments majeurs dissous.

L'un des objectifs du programme dans le cadre duquel s'effectue ce travail est de suivre les variations des flux de matières exportées à l'exutoire du bassin et de déterminer l'influence des fluctuations hydroclimatiques du bassin du Congo à long terme, sur ces variations. Les résultats acquis à ce jour permettent déjà de comprendre les variations de la composition chimique des eaux au cours du cycle hydrologique, pour les années 1987, 1988 et 1989. Ces variations sont représentées sur la figure 4.

Le pH et la silice ne montrent aucune variation particulière en fonction du débit, si ce n'est une tendance générale du pH à l'augmentation au cours de ces trois années de mesure ( $r=0,65$ ; significatif à 0,01 %). Signalons que la courbe de variation du pH correspond aux valeurs de pH mesurées au laboratoire.

La conductivité électrique (*Cond*) et la charge minérale dissoute totale (*TDS*) varient inversement avec le débit, c'est-à-dire qu'en période de crue, les eaux sont moins concentrées et ont une conductivité plus faible. On remarque ici l'effet de dilution par les forts débits. Les maxima et minima de concentration sont décalés d'un mois par rapport aux maxima et minima des débits. Les variations de la conductivité sont parallèles à celles de la charge minérale dissoute totale, et d'ailleurs ici, la conductivité est une fonction linéaire de la minéralisation totale des eaux. L'équation de cette relation est la suivante:

$$Cond \text{ (en } \mu\text{S.cm}^{-1}\text{)} = 0,97 \cdot TDS \text{ (en mg/l)} \quad (1)$$

(avec  $r=0,99$ ;  $N=36$ )

Pratiquement, ceci permet de faire sur le terrain par exemple, une estimation rapide de la charge minérale dissoute totale (*TDS*; en mg/l), en mesurant simplement la conductivité, (*Cond*, en  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ).

Les cations montrent également une dilution en période de hautes eaux. La dilution ou la concentration est également différée d'un mois par rapport à la crue ou à l'étiage. Parmi les anions, seuls les bicarbonates montrent une évolution franchement opposée à celle du débit. Ce schéma est beaucoup moins net pour les chlorures et les sulfates.

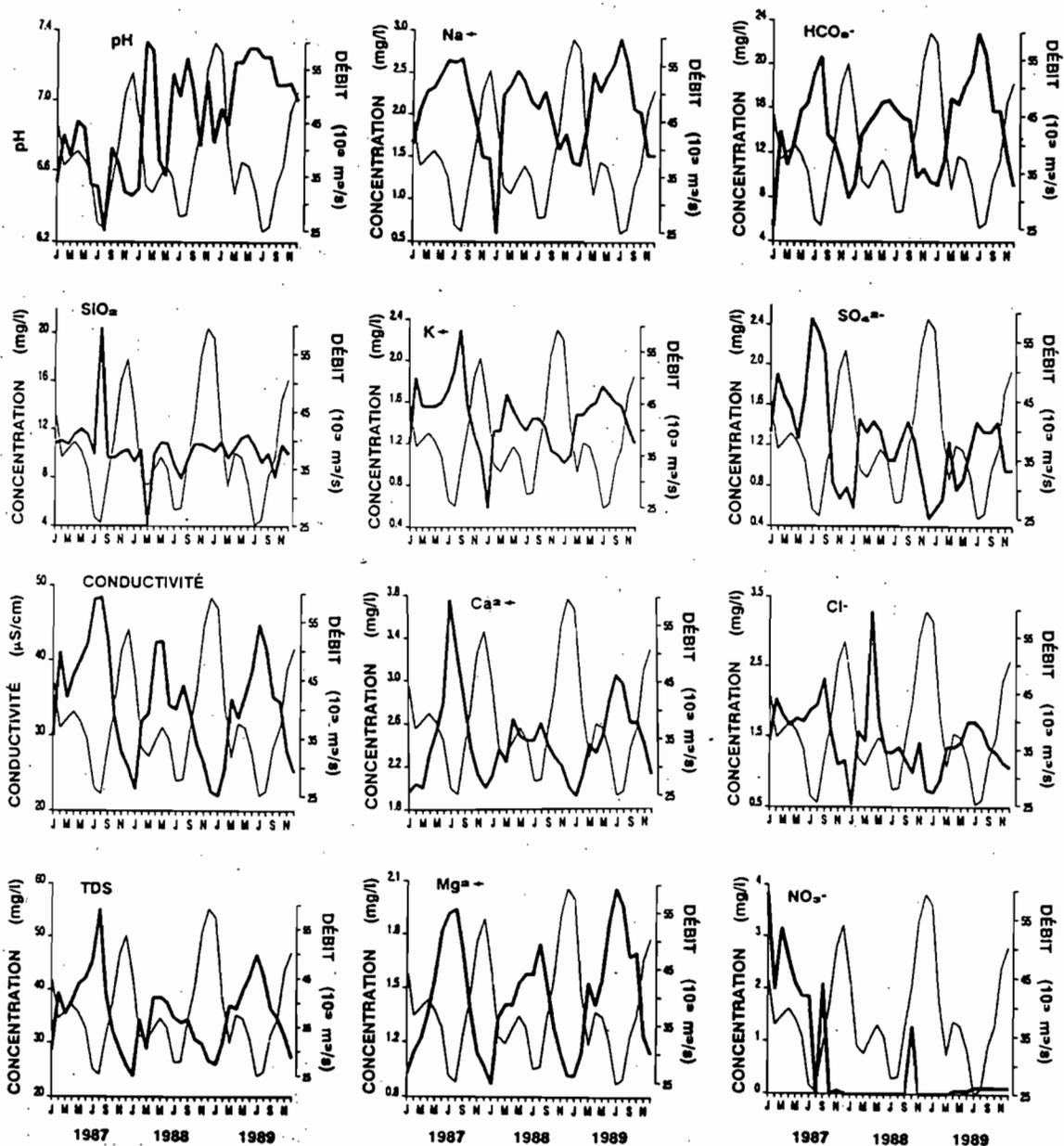


Figure 4: Variations saisonnières du pH (mesuré au laboratoire), de la conductivité (à 20°C), de la charge minérale dissoute totale (TDS), de la concentration de la silice, des cations et anions majeurs en solution (courbe épaisse) et du débit (courbe fine).

#### 6 - Relation entre les débits et les concentrations en éléments majeurs dissous.

La dilution des substances dissoutes en période de hautes eaux est un schéma classique que l'on peut observer sur la plupart des fleuves non pollués du monde. Cette dilution ne se fait cependant pas de la même façon sur tous les fleuves. L'étude de la relation débit-concentration permet de déterminer s'il s'agit d'une simple dilution des eaux de nappes par les eaux de surface, ou si d'autres processus interviennent, comme par exemple

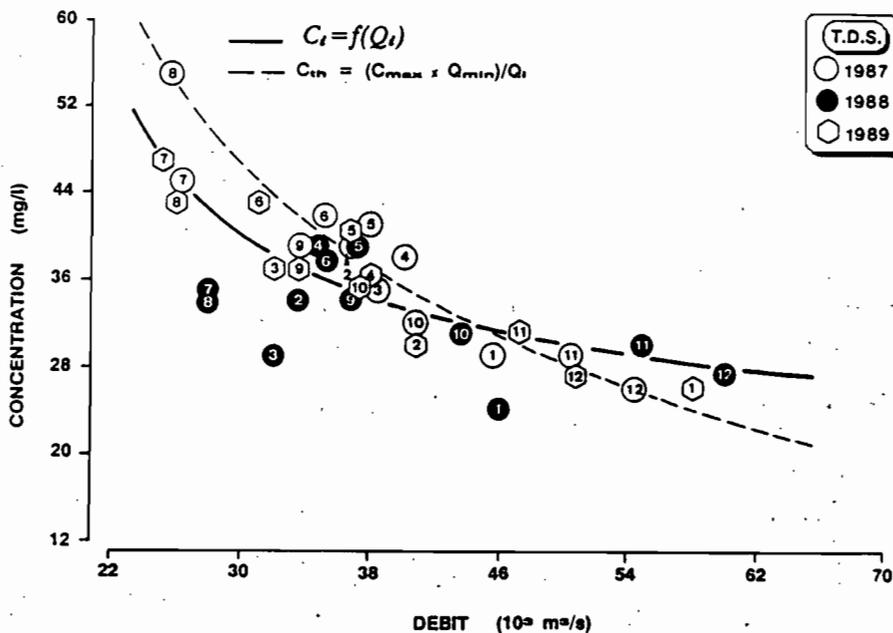
le lessivage des sols. C'est la méthode de dilution théorique ou dilution zéro proposée par Kattan et Probst (1986).

La figure 5 montre la relation entre la concentration des substances dissoutes ( $C_i$ ) et le débit ( $Q_i$ ). Comme on peut le voir sur cette figure, la charge dissoute totale ( $C_i$ ) décroît lorsque le débit ( $Q_i$ ) augmente, et peut s'exprimer, en fonction du débit, par la relation suivante:

$$C_i = 14677,37 \cdot 1/Q_i^2 + 23,91 \quad (2)$$

(avec  $C_i$  en mg/l;  $Q_i$  en  $10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $r=0,77$ ; et  $N=36$ )

Cette fonction est représentée sur le graphique par la courbe en trait plein. D'autre part on remarque que la concentration ( $C_i$ ) est maximale ( $C_i=C_{max}$ ) quand le débit ( $Q_i$ ) est minimum ( $Q_i=Q_{min}$ ), c'est-à-dire à l'étiage. La courbe en pointillés représente la dilution du flux d'étiage ( $C_{max} \cdot Q_{min}$ ) par un volume d'eau croissant ( $Q_i$ ) de concentration égale à zéro. C'est la dilution théorique ou dilution zéro ( $C_{th}$ ). L'allure identique de ces deux courbes montre que la charge dissoute du fleuve à tout instant, résulte de la dilution simple des eaux de nappes par les eaux de surface. Il n'y a donc pas d'importants apports chimiques par des sources ponctuelles (pollutions par exemple) et par lessivage des sols et des profils d'altération précipitations. La relation  $C_i-Q_i$  pour chacun des éléments majeurs dissous est examinée par Probst et al. (soumis).



**Figure 5:** Relation entre le débit ( $Q_i$ ) et la concentration ( $C_i$ ) des substances dissoutes (TDS). La courbe en trait plein représente la relation  $C_i=f(Q_i)$ , la courbe en pointillés est la dilution théorique.

Comme nous l'avons noté précédemment, la concentration des différentes substances dissoutes montre, sauf pour la silice, une bonne relation avec le débit. Par contre en ce qui concerne les flux de matières dissoutes, seul le flux de silice dissoute ( $C_{SiO_2} \cdot Q_i$ ) est très bien corrélé avec le débit. Cette relation, représentée sur la figure 6, peut s'exprimer par la relation linéaire suivante:

$$F_{SiO_2} = 0,01 \cdot Q_i \quad (3)$$

( $r=0,99$ ;  $N=34$ )  
avec:  $F_{SiO_2}$  = flux de silice dissoute =  $C_{SiO_2} \cdot Q_i$  (en tonnes par seconde);  
 $Q_i$  = débit instantané (en  $10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Cette relation ne prend pas en compte les deux points (août 1987 et mars 1988) qui s'écartent du nuage de points. Cette relation peut être utilisée pour calculer le flux annuel de silice dissoute.

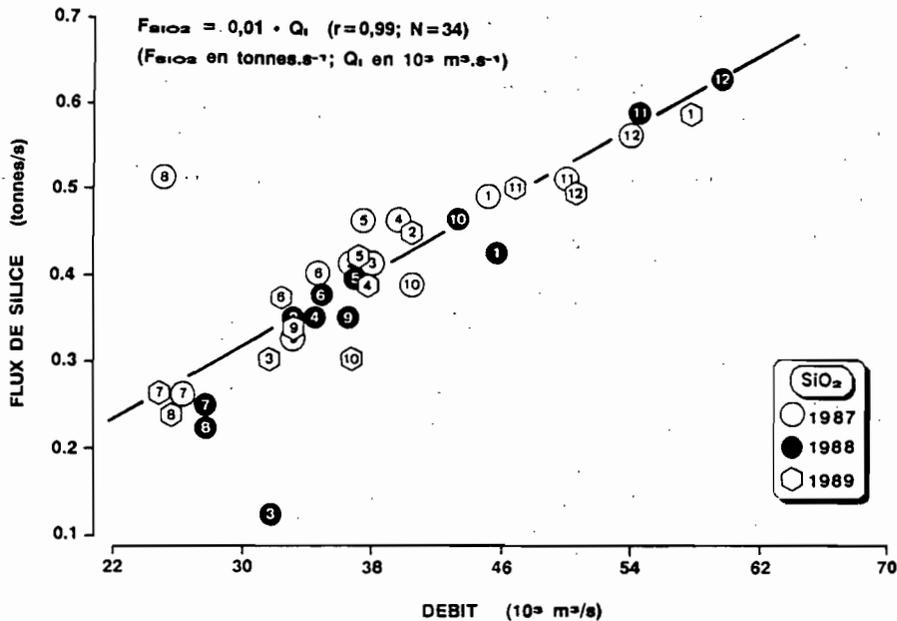


Figure 6: Relation entre le flux instantané de silice et le débit instantané.

## 7 - Bilans moyens annuels de l'exportation des matières dissoutes.

L'établissement du bilan de l'exportation de matières à l'exutoire d'un bassin versant est une opération délicate qui exige le choix d'une méthode appropriée et adaptée au bassin versant et à la fréquence des données disponibles. Ces méthodes se classent en deux catégories: Les méthodes stochastiques basées sur les moyennes pondérées ou non par les débits, et les méthodes déterministes basées sur les relations débit-concentration. Les méthodes utilisées dans cette étude pour calculer les flux de matières exportées par le fleuve Congo sont les suivantes:

### a - Méthodes stochastiques.

#### \* Méthode n° 1:

Le flux annuel résulte du produit de la concentration moyenne annuelle (moyenne pondérée par le débit) par le débit moyen annuel. L'équation est la suivante:

$$F_a = [\sum(C_i \cdot Q_i) / \sum Q_i] \cdot Q_a \cdot k \quad (4)$$

$F_a$  est le flux annuel en tonnes

$C_i$  et  $Q_i$  sont respectivement la concentration (mg/l) et le débit ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) instantanés

$Q_a$  est le débit moyen annuel ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$k$  est le facteur de correction qui exprime le temps = 31,536.

\* Méthode n° 2:

Ici, on calcule la moyenne des flux instantanés ( $C_i \cdot Q_i$ ) que l'on ramène à l'année.

$$F_a = [\Sigma(C_i \cdot Q_i)/n] \cdot k \quad (5)$$

k = facteur de correction qui exprime le temps = 31,536.

n = nombre de prélèvements = 12.

Nous utiliserons ces deux méthodes pour calculer le flux annuel total dissous ( $F_{TDS}$ ) et le flux annuel des différentes substances dissoutes.

b - Les méthodes déterministes.

\* Méthode n° 3:

On cherche d'abord à déterminer les meilleures relations débit-concentration ou débit-flux. On calcule pour chacune des trois années, la relation  $C_i = f(Q_i)$  (fig. 7). On utilise cette relation pour calculer la concentration mensuelle théorique ( $C_m$ ) à partir du débit moyen mensuel ( $Q_m$ ). On calcule enfin le flux annuel total dissous ( $F_{TDS}$ ) de la manière suivante:

$$F_{TDS} = [\Sigma(C_m \cdot Q_m)/\Sigma Q_m] \cdot Q_a \cdot k \quad (6)$$

$F_{TDS}$  = Flux annuel total dissous (en tonnes)

$C_m$  = concentration moyenne mensuelle théorique (en mg/l)

$Q_m$  = débit moyen mensuel (en  $m^3 \cdot s^{-1}$ )

$Q_a$  = débit moyen annuel (en  $m^3 \cdot s^{-1}$ )

K = facteur de correction qui exprime le temps = 31,536.

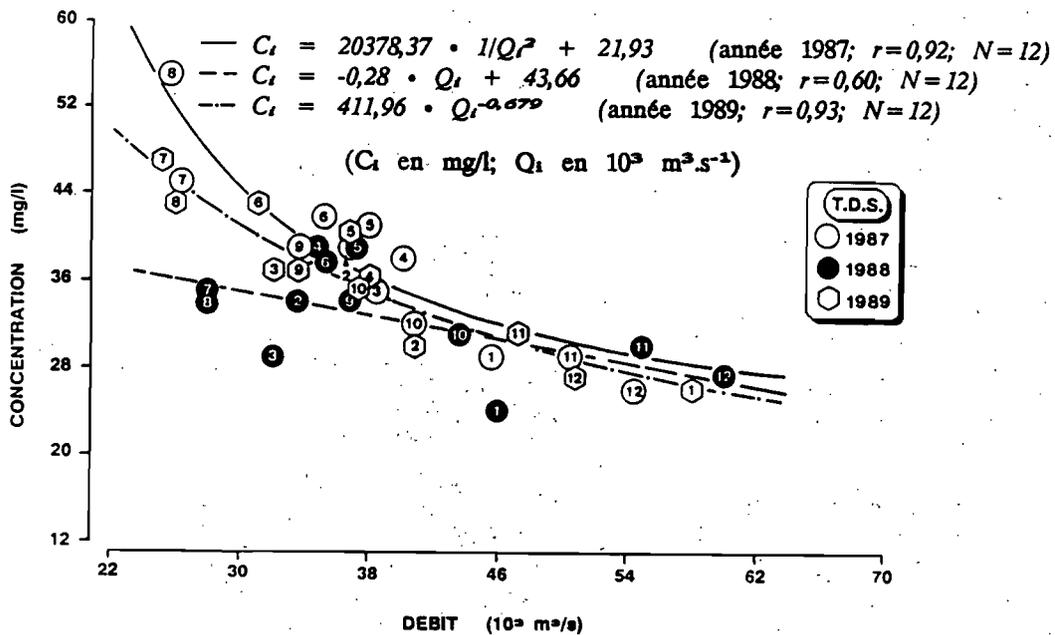


Figure 7: Relation entre le débit ( $Q_i$ ) et la concentration ( $C_i$ ) des substances dissoutes (TDS). Chacune des courbes représente la relation  $C_i = f(Q_i)$  pour chacune des années 1987, 1988 et 1989.

Les flux annuels des substances dissoutes estimés par les différentes méthodes sont représentés sur la figure 8. Bien entendu, ce sont les flux de bicarbonates et de silice qui sont les plus importants. Viennent en suite, les flux de calcium et de magnésium. Les résultats obtenus avec les méthodes 1 et 2 sont quasiment identiques. En terme de flux total dissous, le Congo exporte 40 à 44 millions de tonnes de substances minérales par an (fig 9), suivant les années. Comparé au transport particulaire ( $31 \times 10^6$  t/an, Olivry et al., 1988), ce flux est nettement plus important. Il est important de remarquer que c'est au cours de

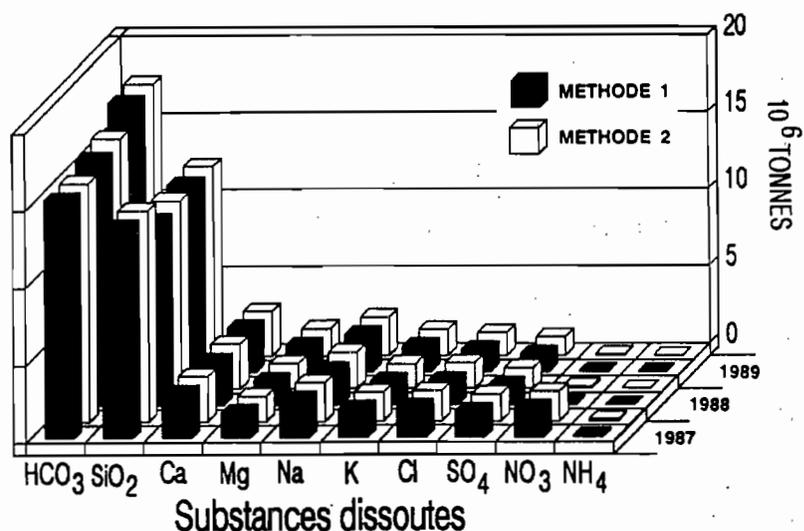


Figure 8: Représentation schématique des flux des éléments majeurs dissous, au cours des années 1987, 1988 et 1989 (les flux sont calculés par deux méthodes différentes).

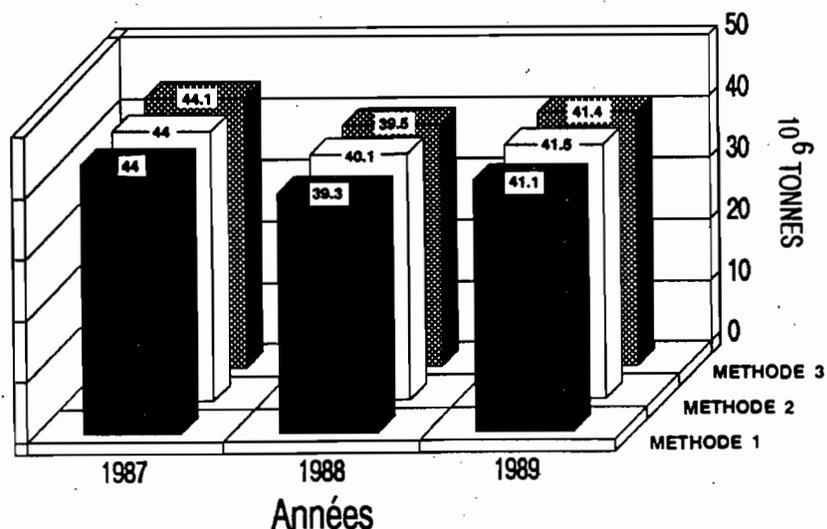


Figure 9: Représentation schématique du flux des substances minérales totales dissoutes, au cours des années 1987, 1988 et 1989 (le flux est calculé par trois méthodes différentes).

l'année la plus humide (1988) que le flux est le plus faible. Il semble donc au vu de ces premiers résultats que les flux dissous soient négativement corrélés avec les flux hydriques. Mais cette conclusion, sans doute encore hâtive, demande encore quelques années d'observation. Il faudrait notamment des années à contraste hydroclimatique important. Quoiqu'il en soit, le flux annuel dissous du Congo ne représente que 3 % du transport total de matières en solution, des continents vers les océans. Il est relativement faible, si on le compare par exemple à celui de l'Amazone. En effet, le rapport Congo/Amazone est égal à 1/4 pour les débits et seulement 1/6 pour les flux annuels dissous (NKoukou, 1989).

## 8 - Conclusion.

En dépit de son vaste réseau de drainage et de son flux hydrique impressionnant, le Congo transporte relativement peu de matières minérales en solution. Pour la période 1987-1989, la concentration moyenne en solution a été estimée à 34 mg/l, et le flux moyen annuel à 42 millions de tonnes. Les transports dissous du Congo sont essentiellement composés de bicarbonates, de silice et de calcium. La composition chimique des eaux du fleuve est relativement stable d'une année sur l'autre. La concentration des substances dissoutes est relativement stable d'une année sur l'autre. La concentration des substances dissoutes est essentiellement réglée par le débit et montre une dilution en période de hautes eaux. Ce schéma très classique ne s'observe cependant pas pour la silice. C'est plutôt le flux de silice qui est corrélé au débit, de façon linéaire. Finalement, au terme de ces trois années de résultats, il apparaît que le bassin du Congo est un système relativement stable d'un point de vue géochimique. Mais il faut souligner que ces trois années de mesures sont très peu différentes d'un point de vue hydroclimatique. Les prochaines années de mesures devraient nous montrer comment réagit le bassin du Congo à des années hydroclimatiques très humides ou très sèches, et quelle est l'influence de ces conditions hydroclimatiques sur les transports de matières particulaires et dissoutes et sur les flux de CO<sub>2</sub> consommé par l'altération chimique des roches du bassin versant.

## Remerciements:

Ces recherches sur le Congo s'effectuent dans le cadre de l'opération "Grands Bassins Fuviaux" (GBF) du programme PIRAT (INSU/ORSTOM). Nous voulons remercier ici pour leur étroite collaboration, les hydrologues des centres ORSTOM de Brazzaville, Bangui et Montpellier.

## Références bibliographiques:

- Boulvert, Y. et Salomon, J.-N. (1988) - Sur l'existence de paleo-crypto-karsts dans le bassin de l'Oubangui (République Centrafricaine). *Karstologia*, n° 11-12, p. 37-48.
- Deronde, L. et Symoens, J.J. (1980) - L'exportation des éléments dominants du bassin du fleuve Zaïre: Une réévaluation. *Annales de limnologie*, 16(2), p. 183-188.
- Gibbs, R.J. (1972) - Water chemistry of the Amazon river. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 36, p. 1061-1066.
- Kattan, Z. et Probst, J.-L. (1986) - Transport en suspension et en solution par la Moselle en période de crue. Actes des journées d'hydrologie, "Crues et inondations", Strasbourg 16-18 Octobre 1986, p. 143-167.
- Kremp, G. (1988) - Techniques de prélèvement des eaux naturelles et des gaz associés. Méthodes d'analyse des eaux et des roches. Notes techniques de l'institut de géologie (nouvelle édition), n° 19, 79 p.

- Martins, O. (1982) - Geochemistry of the Niger river. In: Transport of carbon and minerals in major world rivers, Part I, E.T. DEGENS (ed.), Mitt. Geol.-Paläont. Inst., Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sond., Heft 52, p. 397-418.
- NKoukou, 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 (derniers 600 millions d'années). Thèse de doc. Univ. Louis PASTEUR, Strasbourg, 193 p.
- NKoukou, R.R. et Probst, J.-L. (1987) - Hydrology and geochemistry of the Congo river system. In: Transport of carbon and minerals in major world river, Part 4, E.T. Degens, S. Kempe et G. Weibin (eds.), Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sond., heft 64, p. 483-508.
- Olivry, J.-P., Bricquet, J.-P., Thiebaut, J.-P. et NKamdjou, S. (1988) - Transports de matière sur les grands fleuves des régions intertropicales: les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo. IAHS Publ., n° 174, p.509-521.
- Orange, D. (1990) - Hydroclimatologie du Fouta Djallon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique. Thèse Doct. Univ. Louis Pasteur, 241 p. Strasbourg.
- Probst, J.-L. et Tardy, Y. (1987) - Long range streamflow and world continental runoff fluctuations since the beginning of this century. J. of Hydrol., 94, p. 289-311.
- Probst, J.-L., NKoukou, R.R., Krempp, G., Bricquet J.-P., Thiebaut, J.-P. et Olivry, J.-C. - Dissolved major elements exported by the Congo and Ubangi rivers during the period 1987-1989. (soumis à journal of hydrology).
- Probst, J.-L., Mortatti J., Richey, J.E. et Tardy, Y. - Global weathering CO<sub>2</sub> consumption in the Congo and Amazon river basins estimated from dissolved inorganic carbon river fluxes (soumis à Applied Geochemistry).
- Stallard, R.F. et Edmond, J.M. (1983) - Geochemistry of the Amazon. 2. Influence of geology and weathering environment on dissolved load. J. of Geophys. Res., 88, n° C14, p. 9671-9688.

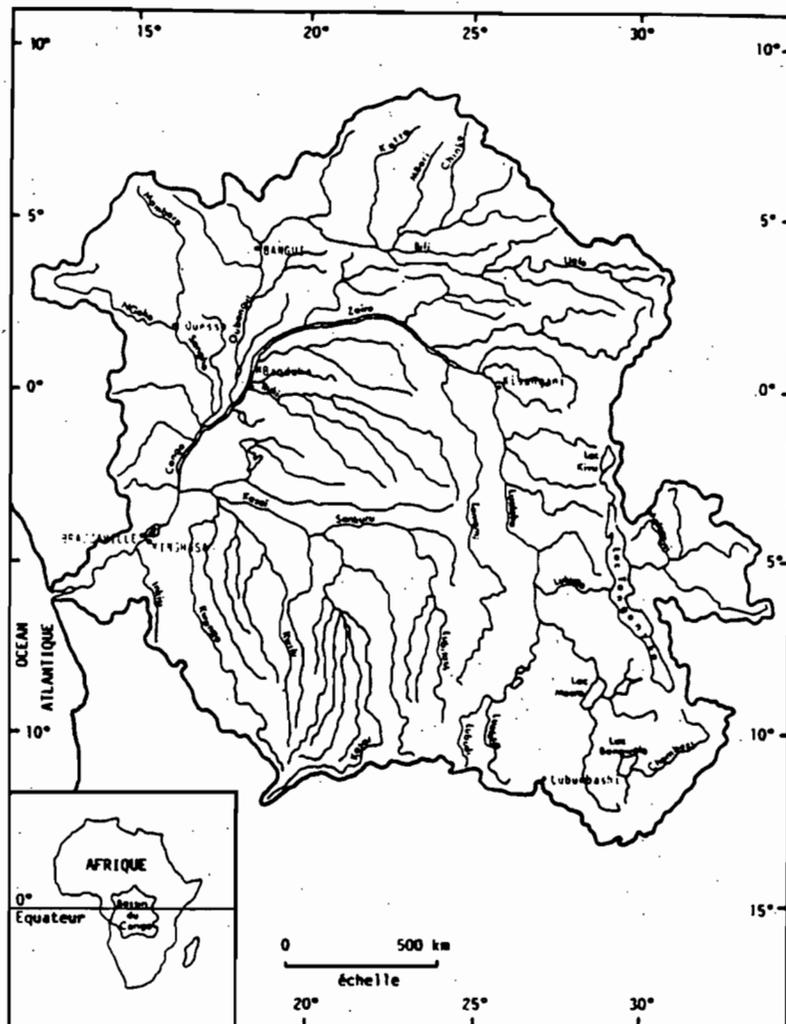
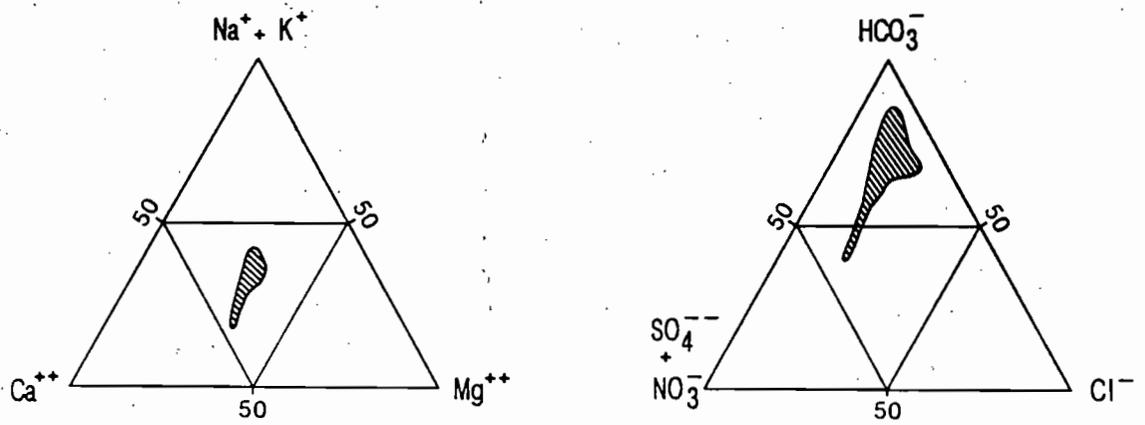
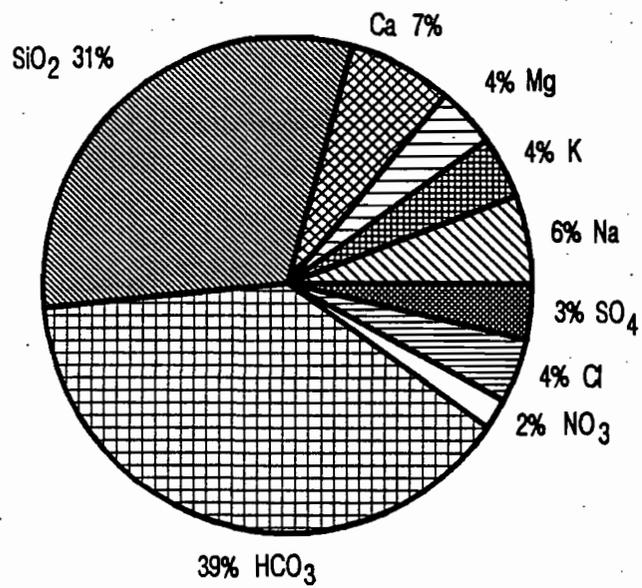


Figure 1: Situation et présentation du bassin du Congo.



**Figure 2:** Représentation schématique de la composition ionique des eaux du Congo.



**Figure 3:** Représentation schématique de la composition chimique des eaux du Congo (en pourcentage de la charge pondérale minérale dissoute totale).

**Tableau I:** Caractéristiques physico-chimiques des eaux du Congo et flux annuels des substances dissoutes ( $Q_a$ =débit moyen annuel; Cond=conductivité à 20°C; TDS=charge minérale dissoute totale).

Années	$Q_a$	pH	Cond	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	TDS
	m <sup>3</sup> /s		μS/cm	Concentration en milligrammes par litre										
1987	40449	6.61	36.15	11.19	0.12	2.08	1.54	2.40	1.38	12.64	1.44	1.59	1.63	36.05
1988	41482	6.92	31.24	9.67	0.01	1.86	1.26	2.31	1.33	12.97	1.07	0.12	1.34	31.97
1989	40449	7.11	31.61	10.21	0.00	2.03	1.40	2.40	1.45	14.70	1.01	0.07	1.23	34.54
Méthodes de calcul		Flux annuels dissous en millions de tonnes												
1987	Méthode n° 1		13.66	0.15	2.53	1.88	2.93	1.68	15.43	1.76	1.95	1.99		44.01
1987	Méthode n° 2		13.67	0.15	2.54	1.88	2.93	1.68	15.44	1.76	1.95	2.00		44.03
1987	Méthode n° 3													44.11
1988	Méthode n° 1		11.95	0.01	2.28	1.55	2.84	1.63	15.91	1.30	0.14	1.64		39.30
1988	Méthode n° 2		12.20	0.01	2.33	1.59	2.90	1.66	16.24	1.33	0.14	1.67		40.12
1988	Méthode n° 3													39.95
1989	Méthode n° 1		12.16	0.00	2.41	1.66	2.86	1.72	17.49	1.20	0.08	1.46		41.11
1989	Méthode n° 2		12.29	0.00	2.44	1.68	2.89	1.74	17.68	1.21	0.08	1.48		41.55
1989	Méthode n° 3													41.40

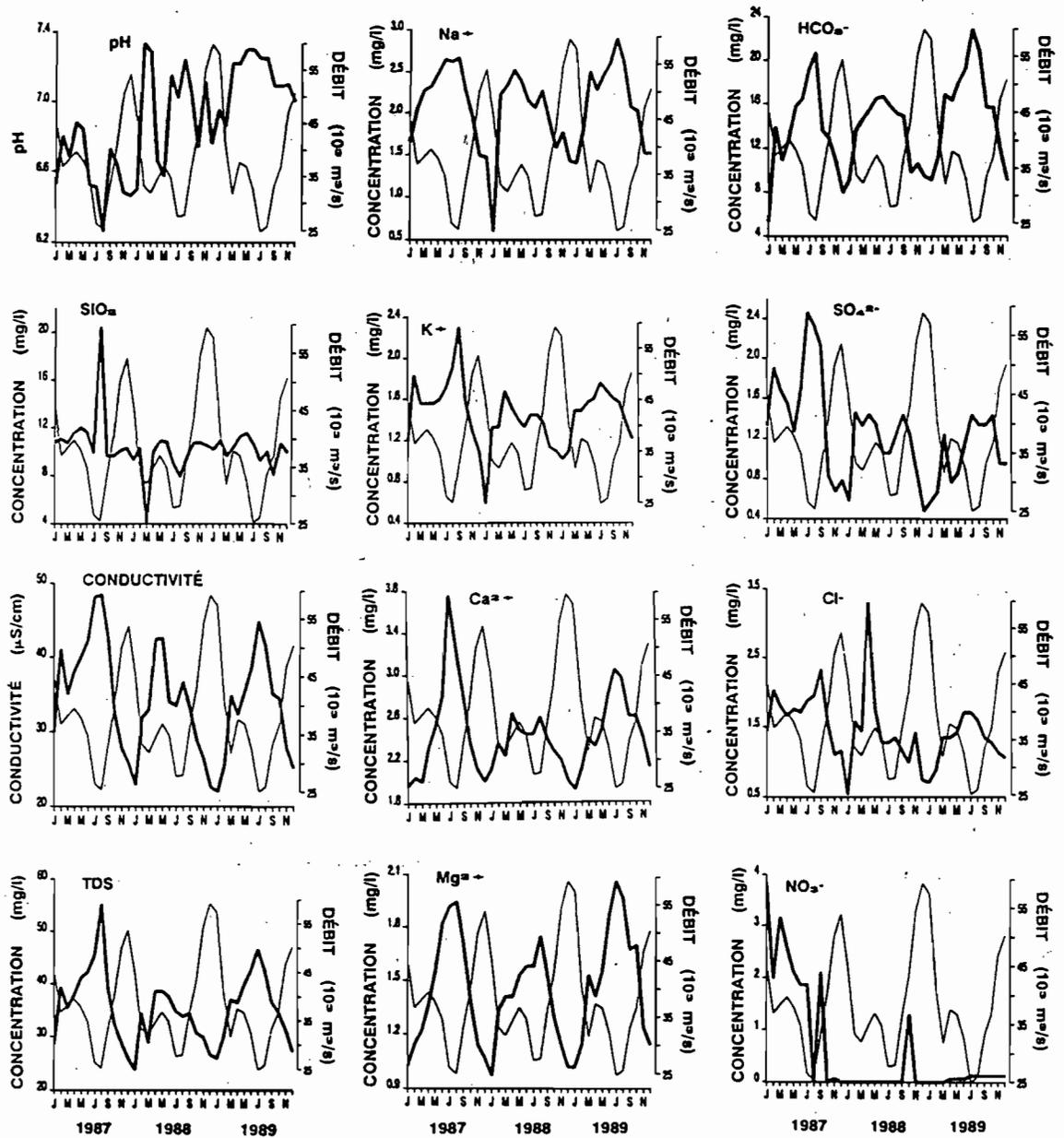
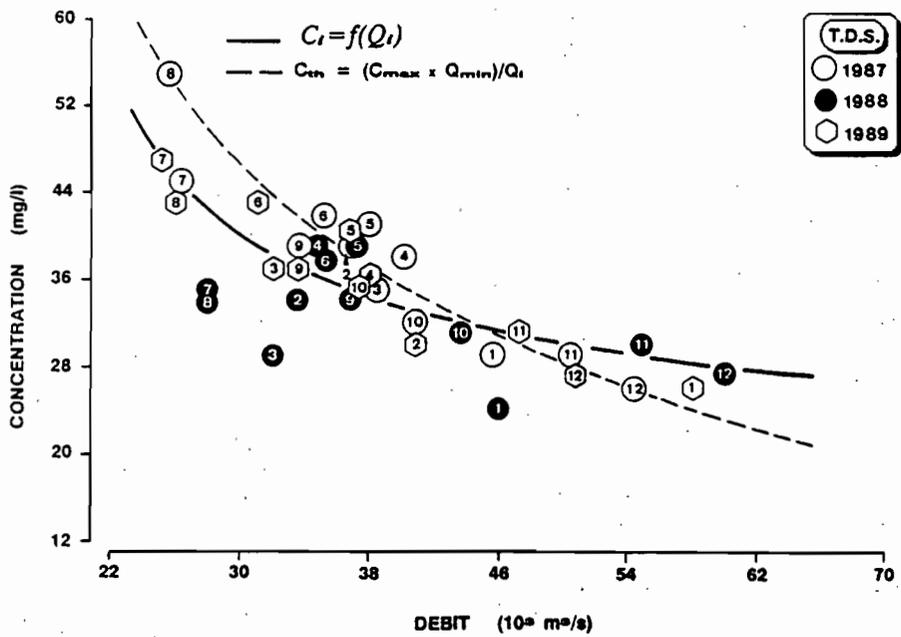


Figure 4: Variations saisonnières du pH (mesuré au laboratoire), de la conductivité (à 20°C), de la charge minérale dissoute totale (TDS), de la concentration de la silice, des cations et anions majeurs en solution (courbe épaisse) et du débit (courbe fine).



**Figure 5:** Relation entre le débit ( $Q_i$ ) et la concentration ( $C_i$ ) des substances dissoutes (TDS). La courbe en trait plein représente la relation  $C_i = f(Q_i)$ , la courbe en pointillés est la dilution théorique.

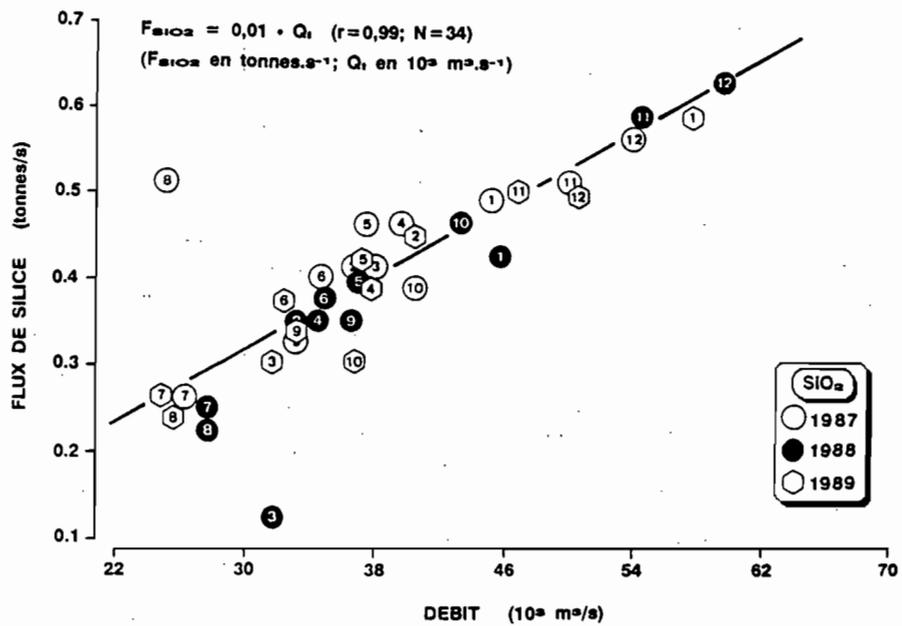
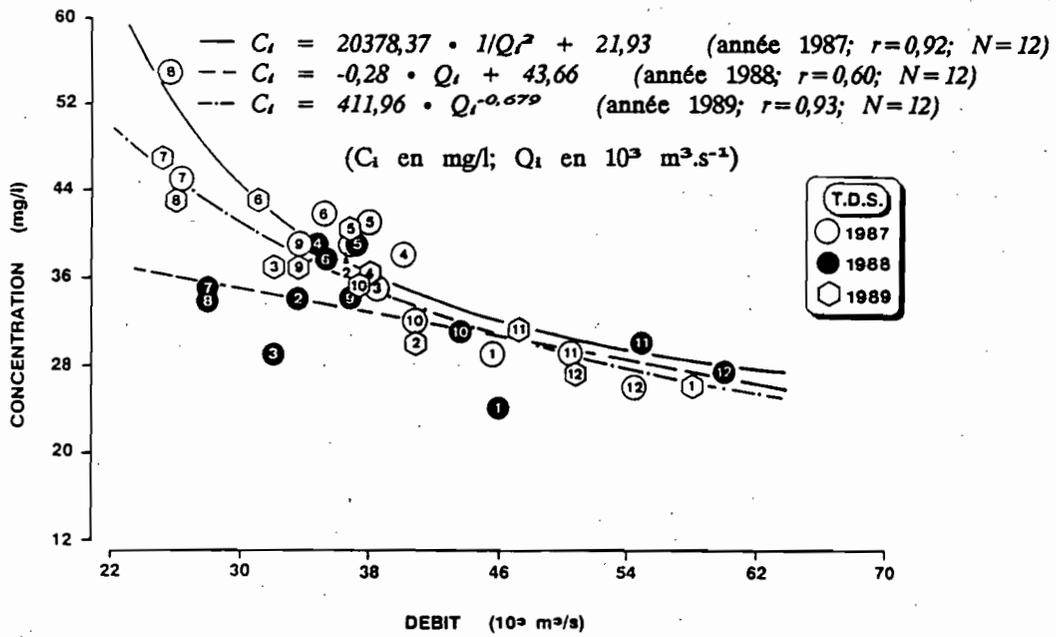
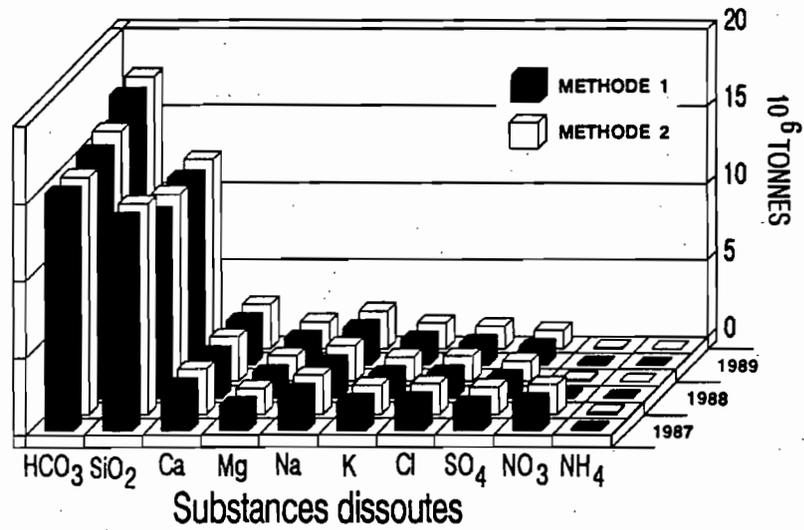


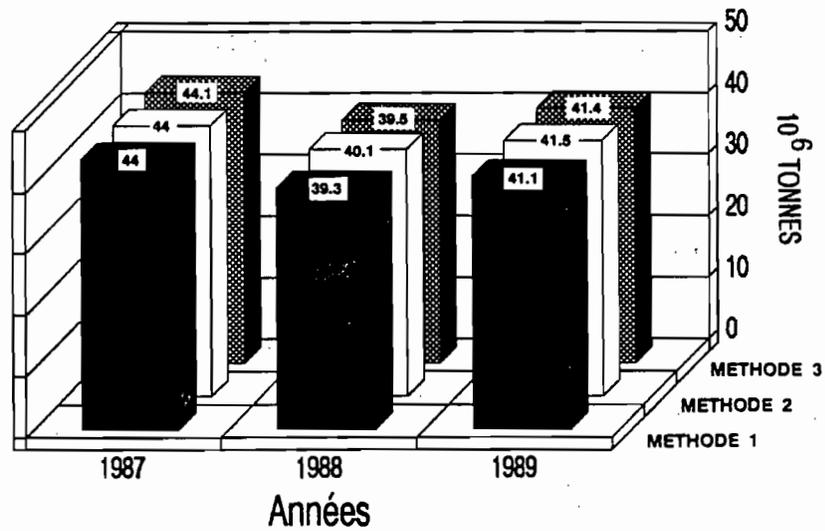
Figure 6: Relation entre le flux instantané de silice et le débit instantané.



**Figure 7:** Relation entre le débit ( $Q_i$ ) et la concentration ( $C_i$ ) des substances dissoutes (TDS). Chacune des courbes représente la relation  $C_i=f(Q_i)$  pour chacune des années 1987, 1988 et 1989.



**Figure 8:** Représentation schématique des flux des éléments majeurs dissous, au cours des années 1987, 1988 et 1989 (les flux sont calculés par deux méthodes différentes).



**Figure 9:** Représentation schématique du flux des substances minérales totales dissoutes, au cours des années 1987, 1988 et 1989 (le flux est calculé par trois méthodes différentes).