

TRANSPORT ET DEPOT DE L'OR DANS LE BASSIN DE L'OUBANGUI-ZAIRE

J. BOULEGUE, I. VERHAEGHE & M. BENEDETTI

RESUME

Deux campagnes d'échantillonnage des eaux du bassin du Congo permettent de préciser les concentrations en or et les flux de transfert dans ce bassin.

Le rôle des eaux de ruissellement lors des épisodes de crue est mis en évidence. Deux régions sources correspondent aux bassins du Giri et du Kasai. L'or pourrait être transporté par des espèces (organiques ?) peu stables, dont la décomposition permet son redépôt dans le bassin même ou proche des exutoires. Le bassin du Congo exporte environ 6 t Au/an vers l'Océan Atlantique.

ABSTRACT

Samples of water were obtained during two years in the Congo basin. We have studied their gold content so as to understand the fluxes of gold in the Congo basin.

Surface aquifer waters and their change during periods of high water are primary factors for gold transfers. The Giri basi and the Kasai basin appear to be the two main source areas for gold.

Gold can be transported via complexation with unstable (organic ?) molecules; their decomposition enable gold redeposition within the source basins or in the vicinity of their outlet in the Congo river.

Total gold flux of gold from the Congo basin to the Atlantic Ocean is 6 t Au/year.

INTRODUCTION

Nous avons pu bénéficier de prélèvements d'eaux faits dans le bassin du Congo lors de deux périodes hydrologiquement différentes : novembre 1988, périodes de très hautes eaux (crue exceptionnelle) et novembre 1989, période normale de hautes eaux. Le travail que nous présentons complète l'étude de BENEDETTI et BOULÈGUE (1990).

Nous présentons d'abord le bassin du Congo dans ses aspects utiles pour le développement des calculs sur les transferts d'or. Nous discutons ensuite principalement la comparaison des résultats des deux crues.

1- GENERALITES SUR LE BASSIN DU CONGO :

1.1. Situation et description partielle

Le bassin versant du Congo est situé dans la région équatoriale du continent africain. Le Congo (ou encore Zaïre) prend sa source à 1420 m d'altitude sous le nom de Lualaba et parcourt 4700 Km jusqu'à son embouchure. Il draine un large bassin de $3,7 \cdot 10^6 \text{ km}^2$. Ce bassin s'étend de la région des grands lacs africains à l'est jusqu'à l'Océan Atlantique à l'ouest. Le bassin du Congo est une cuvette de 300 à 400 m d'altitude entourée de plateaux atteignant parfois 1000 m d'altitude. A partir de Kinsangani, ses berges, jusqu'alors abruptes, perdent de leur hauteur et se réduisent à un simple bourrelet au-delà duquel s'étendent de vastes zones inondables. Le centre du bassin est recouvert par une des plus grandes forêts intertropicales, dense et humide au centre et plus claire dans les parties nord et sud.

1.2 Hydrologie

L'étendue de son aire de drainage et l'importance des précipitations annuelles moyennes sur son bassin (1500 mm) confère au Congo un débit de $41 \cdot 134 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ce qui le classe au deuxième rang des fleuves mondiaux après l'Amazone.

Le régime hydrologique du Congo est complexe en raison de l'équitable répartition de ses affluents entre les deux hémisphères. Ainsi il y a deux saisons sèches, l'une importante en juillet-août au moment de la grande saison sèche australe et l'autre plus faible en février-mars, correspondant à la saison sèche au nord de l'Equateur. Ces deux saisons sont séparées par deux

périodes de hautes eaux, la principale en novembre-décembre, du fait de l'apport de l'Oubangui et de tous les affluents de l'hémisphère sud; et une seconde plus faible en avril-mai, due à la fois aux pluies équatoriales d'équinoxe sur le cours moyen et à la saison humide que connaît la partie méridionale du bassin.

En dépit de cette complexité accrue par les différents retards des crues de chacun des affluents, le Congo présente un régime régulier que ce soit vis-à-vis des variations annuelles ou inter annuelles. Ainsi le rapport du débit moyen de l'année la plus humide à celui de l'année la plus sèche est 1,67 pour le Congo sur 84 années répertoriées et le rapport du débit moyen des hautes eaux à celui des basses eaux, sur une même année, est de 1,74. Au contraire ses affluents connaissent des régimes beaucoup plus perturbés. Par exemple l'Oubangui, affluent principal du Congo, dont la longueur est de 1160 km et le débit de $6300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Bangui, montre une variabilité de son cours plus importante que celle du Congo. Il a un régime tropical alternant une saison de hautes eaux de juin à décembre et une saison de basses eaux de janvier à mai, le rapport de ses débits moyens annuels étant de 2,8 et le rapport des débits extrêmes sur une même année étant de 10.

1.3 Transport de matière

Les charges solides sont relativement faibles vis-à-vis de l'ampleur de son bassin et varient entre 20 et 50 mg/l. Ceci peut se justifier par la présence d'une forêt dense protégeant le sol de l'érosion et par la faiblesse des pentes des bassins versants. Le tableau n° 1 établi par R.R. NKOUNKOU (1989) indique les principales caractéristiques du Congo et le situe par rapport aux autres fleuves mondiaux.

Tableau n° 1

Comparaison du bassin du Congo avec les autres fleuves mondiaux. Les données sur les transports de matière sont exprimées en 10^6 t/an .

	Congo	Fleuves mondiaux	% Congo
Superficie ($10^6 \cdot \text{km}^2$)	3,5	115,62	3
Débit ($\text{km}^3 \cdot \text{an}^{-1}$)	1300	39700	3,27
Débit ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	41134		
Longueur (kms)	4700		
Transport en solution	50	2327	2,14
Transport en suspension	31	13500	0,22
Carbone organique total	12,8	400	3,2

2- ECHANTILLONNAGE ET MESURES.

2.1 Prélèvement des échantillons

La figure n°1 permet de localiser les différents points de prélèvement de la mission qui s'est déroulée entre le 6 et 17 novembre 1989. L'échantillonnage a été effectué par P. NEGREL et J. GAILLARDET (Lab. Géochimie et Cosmochimie, IPGP) entre Bangui et Brazzaville sur une distance de 1200 km, soit 600 Km sur l'Oubangui et 600 km de la confluence jusqu'à Brazzaville sur le fleuve Congo. Onze échantillons ont été prélevés spécifiquement pour l'or sur les cours principaux du Congo et de l'Oubangui ainsi que sur le Kasai. D'autres résultats seront cités ci-dessous concernant des prélèvements effectués sur les affluents pour le laboratoire de Géochimie et Cosmochimie de l'IPGP (P. NEGREL, communication personnelle).

Les prélèvements ont été réalisés au moyen d'un canot pneumatique motorisé de type zodiac. Les échantillons ont été recueillis soit par un préleveur automatique en PVC, à une profondeur correspondant à la moitié de la tranche d'eau, soit à bras d'homme, à l'aide d'un bidon de 10 litres en polypropylène, à une profondeur de 30 cm environ.

2.2. Conservation des échantillons

Les échantillons ont été traités de la façon suivante. Ils ont été filtrés moins d'une demi-heure après leur prélèvement sur des filtres en acétate de cellulose (Sartorius) de 142 mm de diamètre et de $0,2 \mu\text{m}$ de porosité. Puis ceux spécifiquement prélevés pour l'analyse de l'or ont été acidifiés à l'acide chlorhydrique bidistillé et les autres échantillons à l'acide nitrique. Ils ont ensuite été

stockés dans des bouteilles en polypropylène (Nalgène) préalablement lavées à l'acide nitrique dilué et rincées à l'eau distillée.

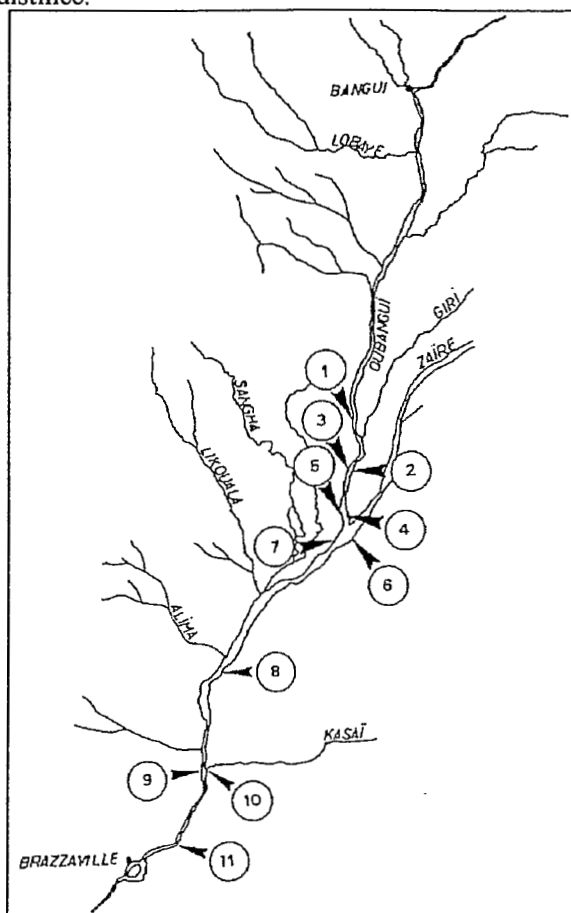


Figure n° 1

Points de prélèvements et numérotation des échantillons prélevés en novembre 1989 pour l'analyse de l'or.

2.3. Mesure des matières en suspension (MES)

Les MES, déterminées par la quantité de matière retenue sur le filtre après filtration d'une quantité d'eau connue, ont été calculées par les chercheurs de l'ORSTOM (DELAUNE et al, 1994) par double pesée d'un filtre de $0,45 \mu\text{m}$ de porosité avant et après filtration d'un litre de solution. Avant toute pesée, le filtre était séché à l'étuve à 110°C .

2.4. Mesure des débits

Les mesures des débits ont été effectuées sur le Congo par les chercheurs de l'ORSTOM (OLIVRY et al, 1988, LARAQUE et al, 1994) à partir de la concentration des matières en suspension et de la vitesse du courant sur une même verticale à différentes profondeurs. Les débits ont tous été mesurés en supposant nulles les variations sur la largeur, comme l'a démontré MOLINIER (1979) à l'exception de la proximité des berges. En pratique cinq prélèvements ont été effectués aux endroits où une échelle servant à repérer la profondeur avait été implantée.

2.5. Analyses

Les échantillons d'eau prélevés spécifiquement pour l'or ont été analysés par ETA-LEAFS selon la méthode de REMI et al (1991). Toutes les analyses de MES ont été effectuées par le laboratoire d'activation neutronique Pierre Süe de Saclay (B. DUPRE, communication personnelle).

3 - RESULTATS

Les différents résultats obtenus sur le terrain ou au laboratoire sont répertoriés dans cette partie : la figure n° 2 et le tableau n° 2 présentent en particulier les concentrations en or dissous de l'Oubangui, du Congo et du Kasai; la figure n° 3 et le tableau n° 3 indiquent celles en or lié au MES sur l'Oubangui et le Congo ainsi que leurs affluents de Bangui à Brazzaville.

Ces résultats appellent quelques commentaires directs, en particulier sur leur cohérence et leur représentativité. Ils sont donnés ci-dessous.

Tableau n° 2

Concentrations en or dissous dans le Congo exprimées en picomole par litre (pM). Les distances sont mesurées à partir de Bangui sur l'Oubangui (exprimées en pk).

Echantillon	Localisation	pH	Concentration Au (pM)
1	pk 465	6,89	5
2	pk 520 côté Zaïre	5,83	117
3	pk 520 côté Congo	6,94	61
4	pk 577 milieu	6,77	86
5	pk 577 côté Congo	6,86	76
6	PK 615 côté Zaïre	5,95	121
7	pk 615 côté Congo	6,90	122
8	pk 868	6,53	7
9	pk 1005	6,53	4
10	Kasai	6,35	130
11	pk 1105	6,40	91

On peut remarquer une grande dispersion des résultats en or dissous, dont les concentrations varient de 4 à 122 pM, avec une moyenne de 56 pM, alors que le particulaire possède des concentrations en or plus faibles mais plus homogènes. Les teneurs en or dissous les plus importantes sont observées dans l'Oubangui après la confluence du Giri (pk 520), dans le Congo après la confluence de l'Oubangui et dans le Kasai. Les mêmes observations avaient été faites par BENEDETTI et BOULEGUE (1990) sur des échantillons prélevés durant la même période mais de l'année précédente.

Deux transects ont été réalisés sur l'Oubangui afin d'estimer la représentativité des échantillons. Au pk 520, les deux échantillons 2 et 3, prélevés de part et d'autre du fleuve, présentent des concentrations en or dissous différentes. La teneur en or du côté du Zaïre est de 117 pM alors que celle du côté du Congo est de 61 pM. On observe aussi une différence de pH des deux échantillons. Du côté du Congo, le pH est de 6,94 équivalent à celui de l'Oubangui alors que du côté du Zaïre, le pH est inférieur (5,83), ce qui peut être attribuable à la présence d'un affluent gauche de l'Oubangui : le Giri. Au contraire le transect du pk 577 (Echantillons 4 et 5) présente une bonne homogénéité des concentrations en or (86 et 76 pM) et du pH (6,77 et 6,86). A ce point, l'influence des eaux acides du Giri ne semble plus sensible.

Tableau n° 3

Concentrations en or lié aux MES dans le Congo et ses affluents en picomole par litre (pM). Les MES exprimées en mg/l correspondent aux matières en suspension.

Localisation	MES(mg/l)	Concentration Au(pM)
pk 0	29,7	9
Lobaye	16,2	3
pk 592	32,9	8
Zaïre	30,6	22
pk 690	19,8	2
Likouala	5,9	4
Sangha	18,6	23
Alima	13,8	4
Kasai	16,8	8
pk 1105	20,7	11

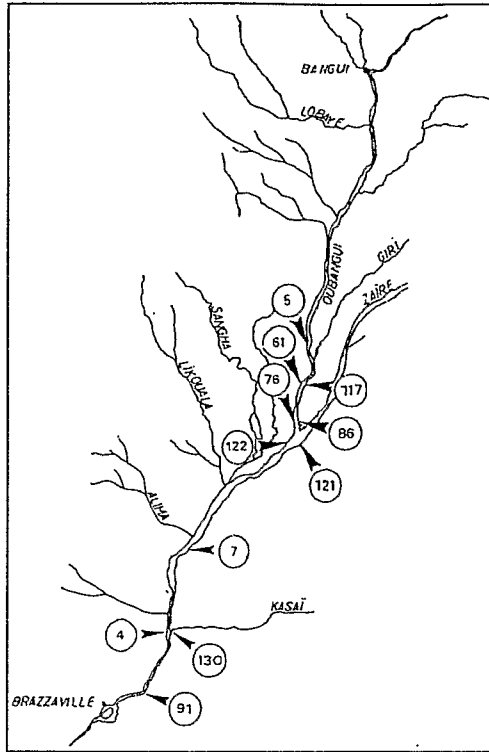


Figure n° 2

Concentrations en or dissous exprimées en picomole par litre (pM)

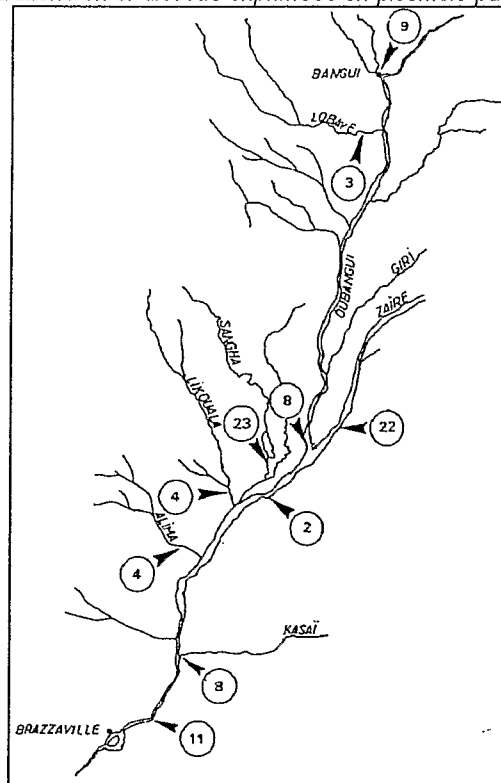


Figure n° 3

Concentrations en or particulaire (pM) dans le Congo et ses affluents de Bangui à Brazzaville

Un troisième transect a été réalisé au pk 615 après la confluence de l'Oubangui et du Congo (Echantillons 6 et 7). Contrairement aux autres données sur section transversale, on observe une homogénéité des concentrations en or dissous (121 et 122 pM) et une hétérogénéité de pH (5,95 et 6,90). Lors du prélèvement à ce point, il a été constaté un non mélange des eaux jaunes de l'Oubangui et des eaux noires du Congo. Ainsi bien que n'étant pas issus du même fleuve les deux échantillons renferment la même quantité d'or dissous.

Il est difficile de comparer les valeurs indiquées sur les tableaux n° 2 et 3. En effet les échantillons pour l'analyse de l'or lié aux MES n'ont pas été prélevés exactement aux mêmes points que les solutions permettant l'analyse de l'or dissous. D'autre part les solutions qui ont été prélevées pour analyser l'or dissous ont été filtrées à 0,2 µm alors que les MES ont été récupérées sur des filtres de 0,45 µm. Ces données donnent donc des concentrations sous-estimées pour or lié aux MES. Il faut noter également le non conservation des quantités de matières en suspension le long du Congo. Au regard du tableau n° 4, la somme des quantités de matières en suspension exportées par an est de 1188 t si l'on considère les apports des différents affluents du Congo alors que la quantité de matière en suspension exportée par an au pk 1105 est de 985 t. Un déficit de 19% est donc observé, dont l'origine peut être une erreur sur les mesures, soit des débits, soit des matières en suspension, ou un phénomène de précipitation des matières en suspension.

Tableau n° 4

Quantités de matières en suspension exportées par an dans le bassin du Congo. Les flux ont été obtenus à partir des matières en suspension et des débits fournis par l'ORSTOM.

Localisation	Matières en suspension (mg/l)	Débit (m ³ /s)	Flux de matières en suspension (kg/s)
pk 592	32,9	7 200	237
Zaire	30,6	21 000	643
Likouala	5,9	1 700	10
Sangha	18,6	4 200	78
Alima	13,8	800	11
Kasaï	16,8	12 500	210

4.- DISCUSSION

Dans cette dernière partie, nous proposons de discuter des différents résultats sur l'or dans le Congo et de comparer nos résultats à ceux publiés par BENEDETTI et BOULEGUE (1990).

4.1. Anomalies des concentrations en or :

Comme dans le cas de l'Amazone (VERHAEGHE et BOULEGUE, 1994), on constate un enrichissement en or dissous significatif du Congo par rapport aux rivières mondiales. En effet bien que certains échantillons prélevés dans l'Oubangui et le Congo aient des teneurs en or dissous du même ordre de grandeur (5 pM au pk 465,7 au pk 868 et 4 pM au pk 1005) que la moyenne mondiale établie par Mc HUGH (1988), la moyenne des teneurs en or dans la partie étudiée est de 56 pM. Les gisements aurifères congolais sont éloignés de plus de 1000 kms des points de prélèvements et ne peuvent justifier ces anomalies. Ainsi le point de prélèvement sur le Kasaï, qui est le seul affluent présentant une forte concentration en or dissous (130 pM), est éloigné de 800 kms d'une source d'or. Pour cet affluent, deux hypothèses peuvent être émises pour justifier son taux d'or : soit une non exhaustivité des gisements répertoriés, soit un transport à longue distance de l'or sous forme d'un complexe stable, ce qui semble cependant peu probable au regard de la faible concentration en or de l'Oubangui (5 pM) alors qu'il draine une zone aurifère le long de son cours.

BENEDETTI et BOULEGUE (1990) ont attribué ces concentrations en or supérieures à la moyenne, mesurées sur le bassin du Congo, au lessivage d'une source d'or formée pendant le remplissage de la partie centrale du bassin avec des produits d'érosion de roches cristallines, de la fin du Mésozoïque jusqu'au quaternaire. Dans leur hypothèse l'or se serait préférentiellement accumulé dans les zones riches en matière organique et apparaîtrait maintenant dans les eaux du

fleuve comme un composé organique dissous suite à une modification d'un paramètre physico-chimique lors des hautes eaux.

4.2. Comparaison des résultats obtenus deux années consécutives :

Une comparaison des concentrations en or analysées dans des échantillons prélevés dans le Congo en 1988 (BENEDETTI et BOULEGUE (1990) et de celles présentées dans notre étude nous permettent de tirer quelques enseignements sur le comportement de l'or. L'échantillonnage des deux années consécutives a été effectué pendant la période de hautes eaux, mais dans des conditions hydrologiques différentes. Le maximum de la crue de 1989 s'est produit le 1er novembre, avec un débit de 7370 m³/s, alors qu'en 1988, la crue s'était produite 15 jours plus tôt et avec un débit de 10 060 m³/s. Les variations des teneurs en or d'une année à l'autre sont répertoriées dans les tableaux n° 5 et 6.

Les concentrations en or lié aux MES peuvent être considérées du même ordre de grandeur pour les deux années successives. En ce qui concerne l'or dissous, des variations importantes sont observées entre les deux années et celles-ci sont supérieures aux variations du débit du fleuve. En effet, le rapport des débits entre 1988 et 1989 est de 1,4 alors que les rapports des concentrations en or dissous entre ces deux années varient de 1,8 à 6,5. Il semble de plus que ce rapport augmente avec la concentration. Dans l'Oubangui avant la confluence avec le Giri, le rapport de concentrations est de 1,8 et celles-ci sont de l'ordre de quelques pM. Au contraire après la confluence avec la Giri, le rapport des concentrations est de 6,5 alors que les concentrations sont supérieures à 100 pM (La valeur prise en compte dans ce tableau, à ce point, pour l'année 1989, correspond à celle du prélèvement du côté du Zaïre, au regard des pH des deux échantillons prélevés les deux années successives).

Tableau n° 5

Comparaison des concentrations en or dissous, en pM, dans le Congo en 1988 et 1989. La colonne 1988/1989 correspond au rapport des concentrations pour ces deux années.

	1988	1989	1988/1989
Oubangui	9	5	1,8
pk 520	760	117	6,5
pk 868	28	7	4
pk 1105	620	91	6,8
Débits (m ³ /s)	10 060	7 370	1,4

Tableau n° 6

Comparaison des concentrations en or lié aux MES, en pM, dans le Congo en 1988 et 1989. La colonne 1988/1989 correspond au rapport des concentrations pour ces deux années.

	1988	1989	1988/1989
Oubangui	4	9	0,44
Lobaye	5	3	1,66
pk 1105	7	11	0,64

Ainsi les concentrations en or dissous s'accroissent sensiblement avec une augmentation du débit, contrairement aux éléments majeurs (LARAQUE et al, 1994). Les crues semblent donc générer des phénomènes d'enrichissement en or des eaux du fleuve. Ceux-ci peuvent être dus soit aux apports des précipitations soit aux apports des eaux de ruissellement.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de mesures de concentrations d'or dans les eaux de pluie publiées à ce jour. Cependant RAHN et al (1970), ARNOLD (1985) et BUAT-MENARD et CHESSELLET (1979) ont montré un enrichissement en or dans les aérosols marins par rapport à la croûte terrestre. Le facteur d'enrichissement calculé, comme le rapport des concentrations en or dans les aérosols et dans la croûte terrestre normalisées par la concentration en aluminium, varie de 10 à 5 000 selon les points de prélèvement. Celui-ci ne peut à priori être lié à une source anthropogénique, aucune pollution atmosphérique en or n'étant connue. Il a été proposé par Arnold (1985) que les aérosols volcaniques puissent être des sources d'enrichissement appréciables en or, sur la base de résultats d'apports atmosphériques à partir de l'Etna. Ce type

d'apport volcanique reste très ponctuel et nous pouvons difficilement l'envisager pour le bassin du Congo. Ainsi les précipitations ne semblent pas pouvoir expliquer l'augmentation des concentrations en or entre les deux années de pluviosité différente.

La différence de concentrations en or dissous entre 1988 et 1989 ne semble pouvoir s'expliquer que par l'apport des eaux de ruissellement. Le rôle de l'altération par des facteurs chimiques inorganiques est à rejeter car il pourrait s'observer de la même façon et même mieux en dehors des périodes de crue lorsque les concentrations des majeurs, ligands potentiels de Au, sont plus élevées. Nous proposons d'attribuer un rôle prédominant aux systèmes biologiques dans la libération et le transport de l'or; il faut invoquer en particulier l'importance du lessivage des plaines forestières inondées dans l'enrichissement en or des fleuves (VERHAEGHE et BOULEGUE, 1994).

4.3. Comportement de l'or sur le cours du fleuve

La série de prélèvements effectués en novembre 1989 permet de déterminer les flux d'or entre Bangui et Brazzaville. Ceux-ci ont été calculés comme le produit du débit du fleuve (LARAQUE et al, 1994) et de la concentration en or. Ce calcul est entaché d'erreurs puisque, comme nous l'avons vu précédemment, les MES prises en compte ne sont pas exactement conservatives sur le cours du fleuve. Cependant la figure n° 4 indiquant l'ensemble des flux nous permet d'observer le comportement de l'or autour de trois confluences : celles du Giri et de l'Oubangui, celle du Zaïre et de l'Oubangui et enfin celle du Kasai et du Congo.

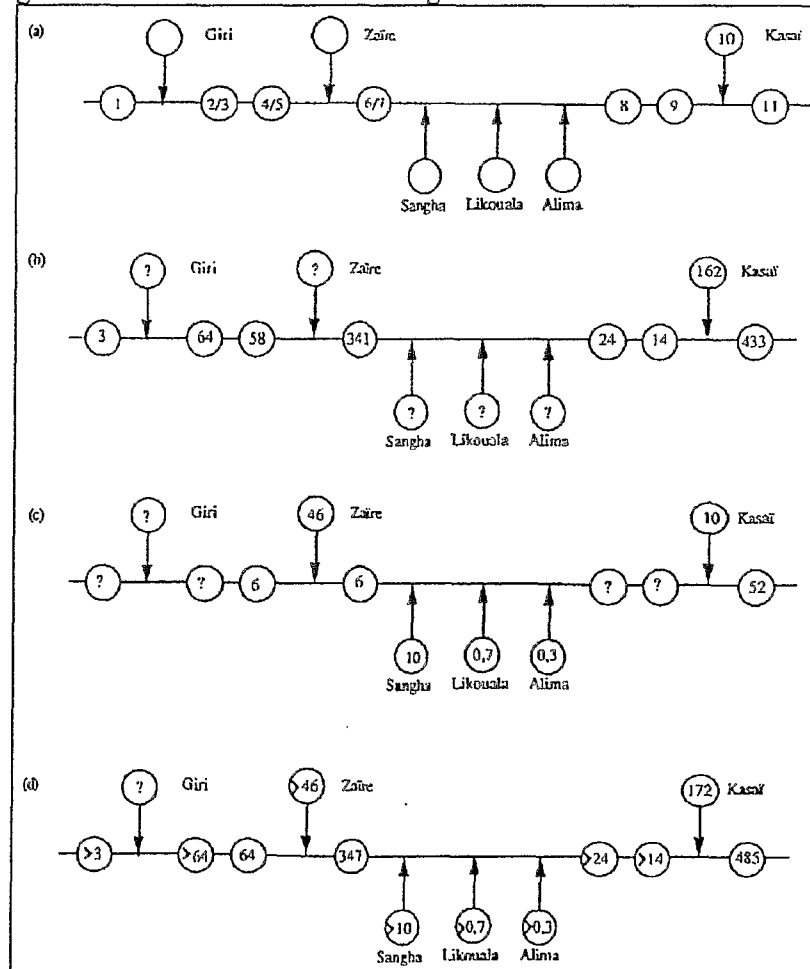


Figure n° 4

Flux d'or le long de l'Oubangui et du Congo exprimé en 10^{-5} mol/s
 (a) numéros des échantillons, (b) flux d'or dissous, (c) flux d'or lié aux MES, (d) flux d'or total.

4.3.1. - Confluence de l'Oubangui et du Giri :

Les concentrations obtenues mettent en évidence que le Giri est une source d'enrichissement en or dissous. En effet la concentration de l'Oubangui augmente de 5 à 81 pM après la confluence avec le Giri. Malheureusement la situation politique locale n'a pas permis d'échantillonner cet affluent afin de confirmer sa concentration élevée en or. Les analyses sur le transect au pK 520 permettent cependant de supposer que sa concentration est de l'ordre de 120 pM, comme nous l'avons montré dans le paragraphe consacré aux résultats.

Une concentration importante de l'or dans le Giri suppose une libération de l'or. Celle-ci peut se produire, suivant BENEDETTI et BOULEGUE (1990), par percolation des eaux acides du Giri, dont le pH est compris entre 3 et 5, dans des zones riches en matière organique, comme par exemple les marais bordant cette confluence.

4.3.2. - Confluence de l'Oubangui et du Zaïre :

La confluence de l'Oubangui et du Zaïre ne nous permet pas d'apprécier l'influence de l'Oubangui sur les concentrations en or du Congo puisque nous ne disposons pas d'analyse d'or dissous sur le Zaïre.

L'échantillon prélevé, après la confluence, dans la masse d'eau correspondant à l'Oubangui, a une concentration en or dissous de 122 pM, alors que celle-ci est de 81 pM avant la confluence. Cet enrichissement qui ne peut être généré par les eaux du Zaïre, les masses d'eaux n'étant pas mélangées, peut s'expliquer par des apports des eaux de ruissellement des marais bordant le fleuve. Ceci semble donc confirmer l'hypothèse du rôle de l'inondation des zones basses bordant le fleuve dans la libération de l'or (VERHAEGHE et BOULEGUE, 1994).

En ce qui concerne l'échantillon prélevé à la même latitude, mais dans les eaux issues du Zaïre, sa concentration est de 121 pM. Celle-ci peut signifier que la concentration en or dissous du Zaïre est importante et/ou qu'un processus local d'enrichissement, dû aux marais proches de la berge perturbe les résultats. Il sera particulièrement intéressant lors d'une prochaine mission de prélever un échantillon dans le Zaïre pour analyser l'or dissous, afin d'éclairer le phénomène observé. La concentration en or lié aux MES issus des eaux du Zaïre (22 pM) est supérieure à celle de l'Oubangui. Notre étude ne nous a pas permis d'établir une relation entre la concentration en phase dissoute et celle liée aux MES.

Au delà de ces points de prélèvement, la concentration en or dissous décroît de manière très importante de 122 pM à 4 pM. BENEDETTI et BOULEGUE (1990), ayant observé le même comportement sur les échantillons de 1988, en ont déduit que l'or précipitait dans cette zone. Ils ont alors supposé que le transport de l'or dissous ne s'effectuait pas à longue distance et que des complexes auro-organiques issus des zones de marais avaient tendance à se déstabiliser suite à la réduction de l'or en présence d'oxyde de fer ou de titane. Des analyses effectuées sur des sables, prélevés dans le fond du fleuve lors de la mission de 1989, n'ont montré aucun enrichissement en or, ce qui pourrait éliminer cette hypothèse de la précipitation, bien que des mesures aient été effectuées sur des échantillons de 1 ou 2 kg, ce qui peut s'avérer peu représentatif. D'autres processus pourraient alors être envisagés, comme celui de la dilution simple. Si l'on suppose alors comme hypothèse extrême que, par exemple, la concentration en or dissous dans le Congo en amont de la confluence avec l'Oubangui est négligeable devant sa concentration en or particulaire, il est possible de calculer la concentration C après cette confluence en considérant le mélange complet des eaux de l'Oubangui et du Congo :

$C = (C_1.D_1 + C_2.D_2)/D$ avec C_i la concentration totale, D_i le débit, 1 désignant l'Oubangui, 2 désignant le Congo avant la confluence, D le débit du Congo après la confluence.

soit : $C = (89 \times 6800 + 22 \times 21\ 000)/128\ 200 = 38$ pM.

Cette concentration de 38 pM est bien supérieure à la concentration mesurée au pk 868 qui est de l'ordre de 10 pM. Il semble donc que le processus de dilution simple, même en envisageant une concentration très faible du Congo avant la confluence avec l'Oubangui, ne puisse expliquer totalement les phénomènes observés. L'effet de non conservation serait encore plus grand si on connaissait la teneur en or dissous du Zaïre.

4.3.3. - Confluence du Kasai et du Congo :

La concentration en or dissous du Congo augmente de 4 pM à 91 pM grâce à l'apport des eaux du Kasai. Ainsi cet affluent est une source d'enrichissement pour le fleuve. Sa concentration a été mesurée à 130 pM en 1989, ce qui pourrait s'expliquer par la libération de l'or par lessivage des podzols présents dans ce bassin (BENEDETTI et BOULEGUE, 1990). Un calcul de dilution simple, comme celui fait précédemment (voir 4.3.2.) nous permet de calculer une concentration de 37 pM dans le Congo après la confluence du Kasai. Or nous avons mesuré une concentration de 91 pM après cette confluence, ce qui laisse supposer un mélange non complet des masses d'eau au pk 1105.

4.4. Rôle de la matière organique

Pour ce qui est de l'or lié aux MES les données présentées dans le tableau n° 7 ne mettent en évidence aucune relation entre le taux de carbone ou d'azote organique et la quantité d'or mesurée dans le Congo et ses affluents entre Bangui et Brazzaville. Ainsi par exemple la Likouala et la Sangha sont les rivières les plus riches en matière organique alors que la première est particulièrement pauvre en Au et que la seconde est particulièrement riche. Pour ce qui est de l'or dissous, son transport peut s'effectuer sous forme de complexes organiques de taille inférieure à 0,45 µm ou de complexes spécifiques liés aux systèmes biologiques. Il n'existe pas encore de données sur le bassin du Congo permettant de conforter cette hypothèse.

Tableau n° 7

Concentrations de la matière organique (fournies par A. SALIOT, LPCM, Paris 6) et de l'or dans la phase particulaire. Il est à noter la non homogénéité des MES : MES (org) signifie mesurée par l'équipe responsable de la matière organique et MES (part) signifie mesurée par l'équipe responsable de l'analyse de la phase particulaire. Les concentrations de MES sont données en mg/l. Au (pM) correspond à l'or lié aux MES, rapporté en pM.

Localisation	MES (part)	MES (org)	% N	% C	Au(pM)
Bangui	29,7	27,93	0,33	4,30	9
Lobaye	16,2	13,11	0,55	5,55	3
pk 577, pk 592	32,9	27,68	0,41	3,71	8
Zaire	30,6	22,23	0,40	4,62	22
Likouala	5,9	3,02	1,23	13,55	4
Sangha	18,6	7,31	0,86	10,07	23
Alima	13,8	13,46	0,72	6,78	4
Kasai	16,8	38,03	0,37	4,95	8
Brazzaville	20,7	11,72	0,45	5,10	11

5. CONCLUSION :

Cette étude sur les échantillons prélevés dans le Congo en période de crue nous permet de confirmer que la Giri et le Kasai sont des sources d'enrichissement en or du Congo dans la zone étudiée. D'autre part, l'influence du lessivage des zones inondées lors des crues semble être confirmée par la comparaison des teneurs en or dans les échantillons prélevés en 1988 et 1989. En effet on a remarqué que la concentration en or augmentait avec le débit du fleuve et que ce phénomène était dû aux eaux de ruissellement. L'hypothèse de l'influence de l'inondation comme source de stress sur la végétation permettant la libération de complexants de l'or, supposée dans de tels environnements lors de l'étude de l'Amazone (VERHAEGHE et BOULEGUE, 1994), pourrait être reprise dans le cas des zones basses inondables du Congo.

L'échantillonnage réalisé ne nous a pas permis d'avoir de renseignements suffisants sur le comportement de l'or après la confluence de l'Oubangui pour confirmer ou infirmer l'hypothèse de la précipitation de l'or dans cette zone émise par BENEDETTI et BOULEGUE (1990).

Les résultats obtenus permettent de confirmer que l'apport total en or du bassin du Congo vers l'Atlantique (sous forme dissoute en suspension) est de l'ordre de 6t/an (BENEDETTI et BOULEGUE (1990)). Cette quantité est notable puisque environ dix fois supérieure aux apports hydrothermaux océaniques dans l'ensemble des océans, BENEDETTI (1990).

REMERCIEMENTS :

P. NEGREL et J. GAILLARDET (LGC, IGP) nous ont fourni les échantillons d'eau du Congo, les mesures de l'or en suspension ont été faites au LPS (Saclay) par D. ROUSSEAU et communiquées par B. DUPRE. Les mesures en ETA-LEAFS ont bénéficié de l'aide de B. REMY et P. MAUCHIEN (CEA). Le manuscrit a bénéficié de l'aide financière des programmes DBT, PIRAT et PEGI. Madame LETEMPLIER (LGM) a assuré l'édition du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNOLD M., (1985). Géochimie et transport des aérosols métalliques au-dessus de la Méditerranée occidentale. Thèse de l'Université Paris VII.
- BENEDETTI M., (1990). Géochimie de l'or : mécanisme de transport et de dépôt. Thèse de l'Université Paris VII.
- BENEDETTI M. et BOULEGUE J. (1990). Transfer and deposition of gold in the Congo watershed. *Earth and Planetary Science Letters*, 100, 108-117.
- BUAT-MENARD P. et CHESSELET R., (1979). Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 42, 399-411.
- DELAUNE M., JOUANNEAU J.M. et HARLE J. (1994). Granulométrie et minéralogie des suspensions particulières des fleuves Congo et Oubangui. in "Grands Bassins Fluviaux peri atlantiques". Colloque ORSTOM (ce volume).
- LARAQUE A., BRICQUET J.P., BERTHELOT M. et OLIVRY J.C. (1994). Les exportations de matières du fleuve Congo. In "Grands Bassins Fluviaux peri atlantiques." Colloque ORSTOM (ce volume).
- McHUGH, (1988). Concentrations of gold in natural waters. *Journal of Geochemical Exploration*, 30, 85-94.
- MOLINIER M., (1979). Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville. *Cah. ORSTOM*, section hydrologique XVI (1) 55-66.
- NKOUNKOUN R-R, (1989). Hydrogéodynamique du Congo et de l'Amazonie. Cycle global de l'eau et bilan de l'érosion au cours des temps phanérozoïques. Thèse de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- OLIVRY J.C., BRIQUET J.P., THIBAUD J.P. et SIGHA N, (1988). Transport de la matière sur les grands fleuves des régions intertropicales : les premiers résultats des mesures de flux particulières sur le bassin du fleuve Congo. *Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium, dec. 1988) IAHS Publ. n° 174*.
- RAHN K.A., BORYS R.D., SHAW G.E., SCHUZ L. et JAENICKE R., (1979). Long-range impact of desert aerosol on atmospheric chemistry. *Saharan Dust*, (edited by C. Morales), J. Wiley and Sons, N.Y.
- REMI B., VERHAEGHE I. et MAUCHIEN P., (1991). Real sample analysis by ETA-LEAFS with background connection : application to gold determination in river water. *Applied Spectrosc.*, 44, 19-24.
- VERHAEGHE I. et BOULEGUE J., (1994). Transfert et dépôt de l'or dans l'Amazonie en crue. in "Grands Bassins Fluviaux peri atlantiques (Congo, Niger, Amazonie)". Colloques ORSTOM (ce document).