

TRANSPORTS SOLIDES ET DISSOUS DU FLEUVE CONGO (BILAN DE SIX ANNEES D'OBSERVATIONS)

A. LARAQUE, J.P. BRICQUET, J.C. OLIVRY & M. BERTHELOT

RESUME

Six années d'observations régulières et continues (1987-92) portant sur les transports solides et dissous du fleuve Congo, ont permis de les quantifier avec précision et de définir leurs natures.

Ce fleuve dont le module interannuel durant cette période d'étude est de $37\,700\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ a exporté en moyenne interannuelle $91,8 \times 10^6$ tonnes de matière, réparties en $7,9 \times 10^6$ tonnes de sables, $22,8 \times 10^6$ tonnes de matière en suspension (MES) et $61,1 \times 10^6$ tonnes de matière dissoute (MD).

12 % des MES sont constitués par de la matière organique particulaire (MOP) et 29,5 % de la matière dissoute provient de la matière organique dissoute (MOD). Le reste de la charge correspond respectivement à de la matière minérale particulaire (88 % des MES) ou dissoute (70,5 % des MD).

La concentration interannuelle moyenne de ces transports (76,2 mg/l) est faible par rapport à celle des grands fleuves de la planète.

Les variations saisonnières et interannuelles des concentrations de matière et des débits n'excèdent pas respectivement 14% et 28%, soulignant ainsi une grande régularité des régimes d'exportations solides et liquides.

Cependant l'étude plus fine des variations de chaque catégorie de matière transportée aide à mieux comprendre le fonctionnement de cet écosystème très marqué par la forêt équatoriale, qui couvre plus de la moitié de ce bassin versant.

L'exportation spécifique de matière est de $26,3\text{ tonnes km}^2\text{ an}^{-1}$ (sans correction des apports atmosphériques).

INTRODUCTION

Plusieurs travaux antérieurs ont déjà eu pour objectif l'évaluation des transports de matière du fleuve Congo. Mais, la plupart d'entre eux ont été réalisés, sur la base de quelques mesures ponctuelles à partir d'échantillons de surface prélevés sans périodicité régulière. Les résultats publiés sont ainsi assez disparates. La plus longue série de mesures effectuées par GIRESSE (Kinga Mouzéo, 1986) couvre néanmoins trois cycles hydrologiques entre 1974 et 1976, au pas de temps mensuel, avec cependant des lacunes d'observations et sur un simple échantillon de surface prélevé au port de Brazzaville.

La chronique de données obtenue sur le Congo, dans le cadre du programme PEGI, est la première en son genre du point de vue de sa régularité, périodicité, durée et précision.

Pendant 6 années entre 1987 et 92, soit durant 5 cycles hydrologiques complets, 73 opérations mensuelles de mesures in situ (prélèvements, traitements et dosages d'échantillons), suivies d'analyses physico-chimiques en laboratoire, ont pu être réalisées.

A partir des données obtenues durant cette période nous étudierons les variations saisonnières et interannuelles des différents transports solides et dissous, en privilégiant le raisonnement par cycles hydrologiques plutôt que par année calendaire. De toute façon, ces deux types d'approche donnent des résultats très semblables.

Cette période d'étude, avec un module de $37\,700\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$, se situe dans une phase d'écoulement déficitaire amorcée au début de la décennie 1980 (- 7% par rapport au module interannuel calculé sur les 90 dernières années).

1 CONCENTRATIONS, FLUX ET BILANS ANNUELS DES EXPORTATIONS (1987-92) :

1.1 - Les concentrations :

La totalité de ces transports (moyenne interannuelle de 76,2 mg/l) se répartit en 34% de transports particuliers (25,8 mg/l) et 66% de transports dissous, soit 50,4 mg/l.

Les transports solides ou matières en suspension totales (MEST) sont subdivisées en 6,54 mg/l de matières en suspension grossières (MESg, fraction supérieure à 50 µm) composées essentiellement de sables et 19,27 mg/l de matières en suspension fines (MESf), fractions comprises entre 0,45 et 50 µm (fig 1).

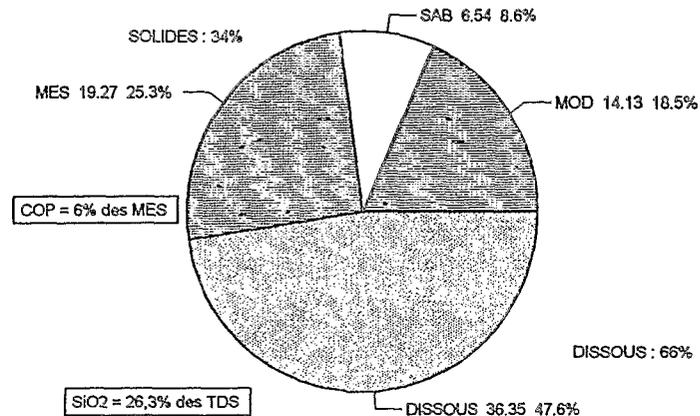


Figure 1

Répartition des transports de matière au cours d'une année hydrologique. Moyenne 1987-1992.

Les concentrations en MESf sont proches de celles trouvées par GIBBS (1967) et MOLINIER (1979) mais par contre, elles varient parfois du simple au double pour les autres auteurs, comme VAN MIERLO (1926), DEVROEY (1941), NEDECO (1959), HOLEMAN (1968), SPRONCK (1941), VAN DER LIDEN (1975) et KINGA MOUZEZO (1986).

Les différentes méthodes de collecte et de traitement des échantillons, le choix des normes de séparation des fractions solides et les approximations dans les évaluations annuelles, souvent réalisées à partir de quelques données ne couvrant pas plusieurs cycles hydrologiques ou alors ne portant que sur des fractions de cycles, sont à l'origine de tels écarts. Encore faut-il, avant toute comparaison, bien distinguer chez chaque auteur, les matières en suspension totales, comprenant toutes les fractions supérieures à 0,45 µm, des matières en suspension fines constituées uniquement des fractions silteuses et argileuses, situées entre 0,45 et 50 µm.

Les résultats de dosages effectués en 1987 et 1992 (8 pour chaque année), permettent d'évaluer à environ 12 % la proportion de carbone organique particulaire (COP) parmi les MES fines. Ce pourcentage faible concorde avec les 7% calculés par NKOUNKOU (1985) à partir des données de KINGA MOUZEZO (1982). CADEE (1982) estime pour sa part, ce pourcentage à 4,66%.

Les concentrations en COP sont ainsi très faibles (moyennes de 1,33 mg l⁻¹ en 1987 et 1,63 mg l⁻¹ en 1992) ; elles entrent dans la gamme des valeurs (1,1 à 2,5 mg l⁻¹), présentées par KINGA MOUZEZO (1986) à partir des échantillons prélevés sur le Congo en 1976 et 1983.

Les 50,4 mg l⁻¹ de matière dissoute (MD) moyenne, contiennent 72% de matière minérale (ou *total dissolved solids* : TDS = 36,35 mg l⁻¹) et 28% (soit 14,13 mg l⁻¹) de matière organique dissoute (MOD), qui représente l'essentiel de la matière organique totale.

Grands Bassins Fluviaux, Paris, 22-24 novembre 1993

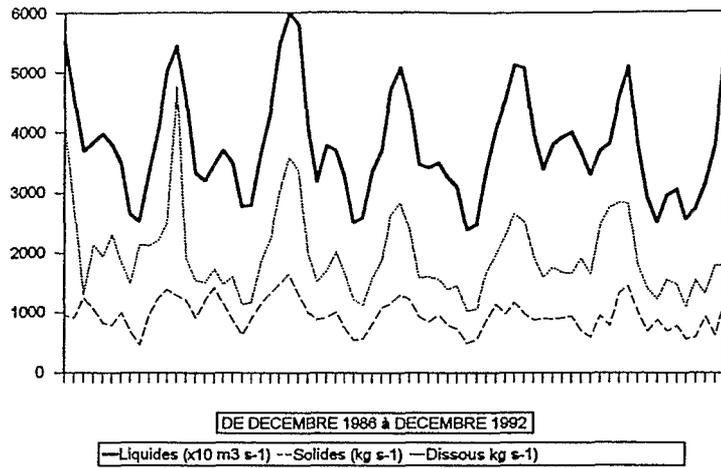


Figure 2a

Débits solides, dissous et liquides du Congo à Brazzaville.

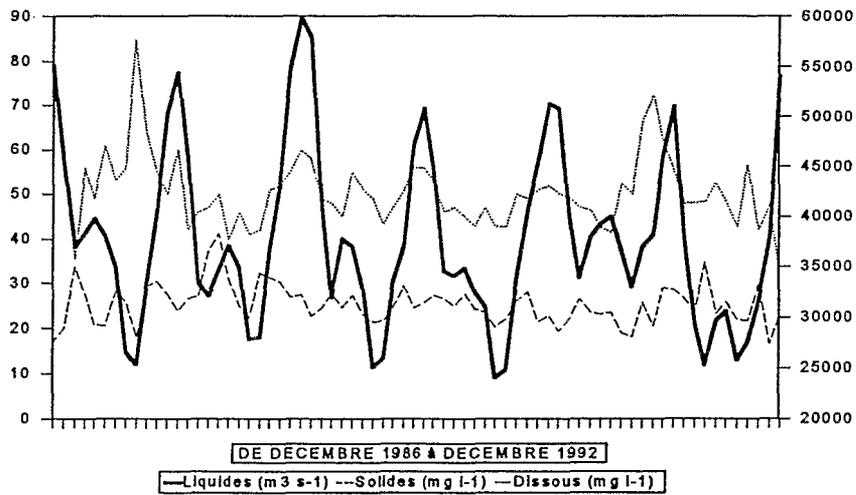


Figure 2b

Variations des concentrations et des débits du Congo à Brazzaville.

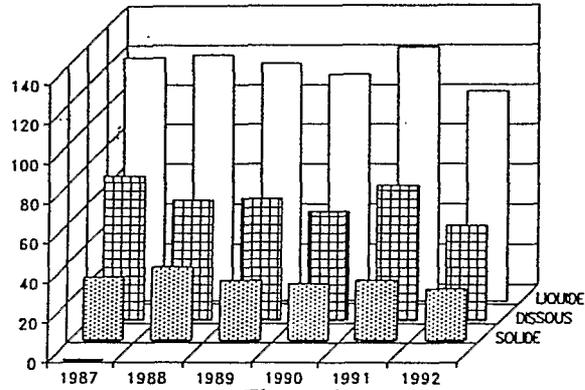


Figure 3

Exportations dissous, solide, liquide, moy.ann. en 10^6 t et 10^{10} m³

Cette MOD a été calculée pour chaque échantillon d'eau, par différence entre la matière dissoute totale (MD), qui correspond au résidu sec à 105°C, et la matière minérale dissoute (TDS).

Cette dernière est composée de 73,7% d'éléments dissous ionisés (ou CTD = charge totale dissoute = sommes des cations et anions dosés au laboratoire). Le reste, soit 26,1 %, correspond à des oxydes minéraux neutres en solution où la silice (9,49 mg l⁻¹ de SiO₂) domine largement sur des quantités négligeables de Fe₂O₃ et Al₂O₃.

1.2 - Les flux :

En terme de flux, nous obtenons un débit total de 2914 kg s⁻¹ de matière, réparti respectivement en 975,2 et 1938,7 kg s⁻¹ de transports solides et dissous.

Les solides se décomposent en 250,6 et 724,6 kg s⁻¹ de matières en suspension grossières et fines, tandis que les dissous se subdivisent en 1327,7 et 611 kg s⁻¹ de matière minérale et de matière organique.

Les solidogrammes du Congo sont semblables à ses hydrogrammes. Les faibles valeurs des concentrations en solides et dissous et leurs faibles variations saisonnières, pas toujours synchrones avec celles des débits, sont en fait contrôlées et occultées par les très fortes valeurs des débits du fleuve (Fig. 2 a et b).

1.3 - Les bilans :

Les 91,8 x 10⁶ tonnes de matières exportées annuellement sont constituées de 33,5% de solides soit 30,7 x 10⁶ tonnes, dont 7,9 x 10⁶ tonnes de matières en suspension grossières (ou sables) et 22,8 x 10⁶ tonnes de matière en suspension fines, ainsi que de 66,5% de matière dissoute, soit 61,1 x 10⁶ tonnes réparties en 44 x 10⁶ tonnes de minéraux dissous et 17,1 x 10⁶ tonnes de matière organique dissoute (Fig. 3).

Ces valeurs de transports solides sont en accord avec les 31,2 x 10⁶ t an⁻¹ de GIBBS (1967).

De 1987 à 92, ce fleuve a donc exporté 544 x 10⁶ tonnes de matière dont 181 x 10⁶ de solides et 363 x 10⁶ de dissous, pour un volume liquide de 7100 milliards de m³.

2 VARIATIONS SAISONNIERES ET INTERANNUELLES DES TRANSPORTS

2.1 Variations saisonnières

Les évolutions des différentes concentrations avec les débits ne montrent pas de cycles bien définis, tels qu'on en trouve pour les rivières tropicales unimodales comme l'Oubangui (OLIVRY et al, 1988), et n'ont pas toujours des comportements bien similaires d'un cycle à l'autre.

Pour l'Oubangui, le plus important affluent du Congo après le Kasai, les transports solides augmentent en précédant le pic de crue, ce qui traduit une érosion du bassin pendant la montée des eaux. Ils diminuent en même temps que les débits, ce qui correspond à l'arrêt du processus érosif, avec des concentrations de décrue très faibles. L'écart entre concentrations de crue et de décrue est en général très important, de l'ordre de 50 mg l⁻¹.

Pour le Congo, ces écarts sont faibles, toujours inférieurs à 20 mg l⁻¹, et les courbes sont d'interprétation délicate pour les transports globaux en suspension.

Prenons, comme exemple, l'année hydrologique 1988-89 avec des variations de 9,9 mg/l pour les solides (moyenne annuelle 25,8 mg l⁻¹) (Fig. 4a), et de 21 mg l⁻¹ pour les matières dissoutes (moyenne annuelle 51 mg l⁻¹) (Fig. 4b).

2.1.1 Les suspensions

Les plus fortes concentrations de matières totales en suspension (septembre-octobre) précèdent le pic de crue de décembre, puis les concentrations restent stables lors de la décrue importante de février; augmentent quelque peu, curieusement, à l'étiage de mars; enfin chutent avec le débit pendant le grand étiage de juillet-août.

Les variations très faibles (rapport des extrêmes = 1,46) et quelque peu anarchiques de ces concentrations (courbes en dents de scie serrées plus nombreuses que celles des débits - Fig. 5) au cours des années hydrologiques, soulignent la contribution au régime d'exportation du fleuve, des

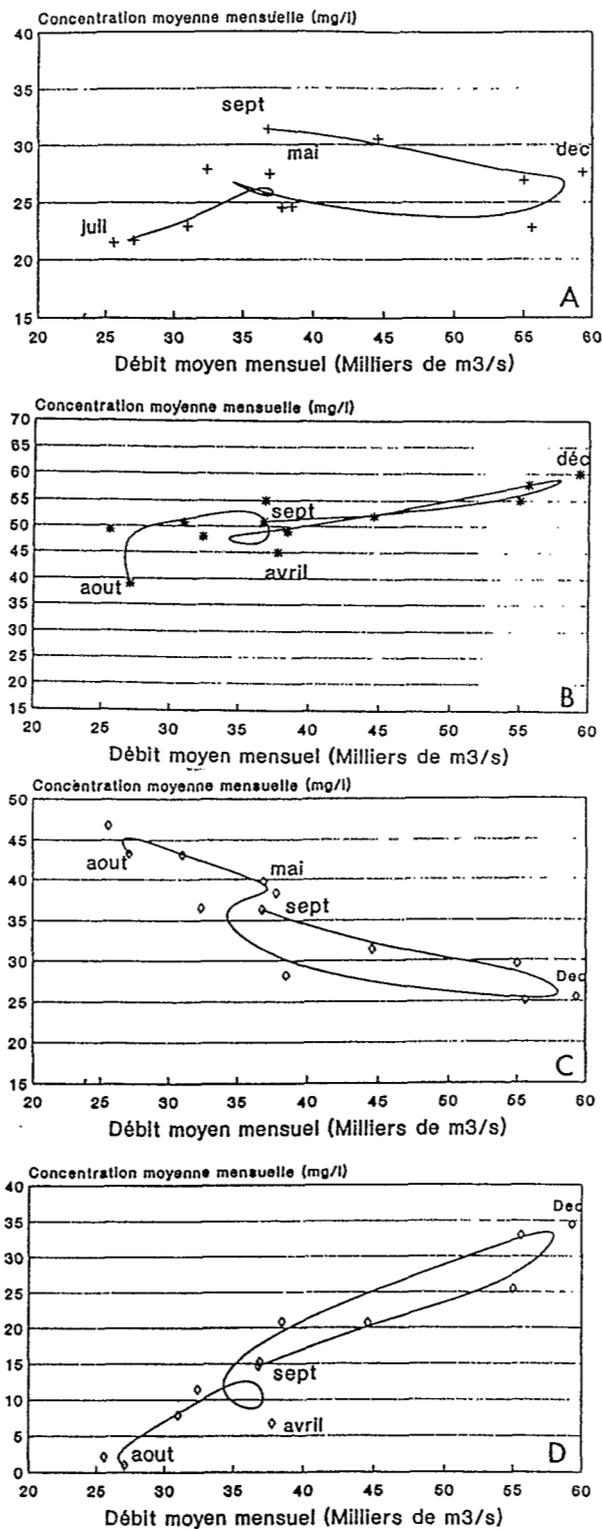


Figure 4
Matières en suspension (A), dissoutes (B), minérales dissoutes (C) et organiques dissoutes (D), Congo à Brazzaville, année hydrologique 1988-1989.

moins apports d'une région ou d'une autre du bassin versant qui se trouve en pleine activité érosive. En effet, la figure 5, montre qu'à chaque période de montée des eaux, est associé un pic plus ou important, de MES fines, qui précède le pic de crue, mais ces augmentations ne sont pas proportionnelles à l'importance des crues.

Au sein des transports solides, ce sont les sables qui, relativement, varient le plus. Les variations extrêmes de leur concentration durant une année hydrologique sont de l'ordre de grandeur de leur concentration moyenne durant ce même cycle. Par exemple en 1989-90, l'écart maximum des concentrations a atteint $8,28 \text{ mg l}^{-1}$ pour une concentration moyenne de $7,50 \text{ mg l}^{-1}$, avec un rapport saisonnier de 3,22.

Pour les MES fines, ces écarts saisonniers sont bien plus faibles que les valeurs des moyennes cycliques, excepté pour celui de l'année hydrologique 1991-92, dont l'amplitude saisonnière de 16 mg l^{-1} , avoisine la moyenne annuelle ($17,76 \text{ mg l}^{-1}$).

Cependant, durant les cycles hydrologiques, les fluctuations des concentrations des transports dissous, renseignent sur certains aspects du fonctionnement de cet écosystème forestier intertropical.

2.1.2 Les matières dissoutes

Celles-ci (Fig. 4b) sont surtout contrôlées par la matière minérale dissoute, dont les concentrations moyennes sont deux fois plus importantes que celles de la matière organique dissoute.

TDS et MOD ont des comportements inverses durant l'année hydrologique, comme le montre les pentes des courbes des figures 4 c et 4d.

La concentration en matière minérale dissoute (Fig. 4c) diminue en crue (dilution) et augmente en étiage (concentration). Cela est très marqué pour le mode principal et plus discret pour le mode secondaire où l'on constate juste une atténuation de l'augmentation de concentration en TDS lors de la petite crue de mai. En août, une baisse de la concentration va de pair avec un début précoce de la crue principale du cycle hydrologique.

Suivant les années hydrologiques concernées, la concentration en TDS est de 1,33 à 1,87 plus faible en crue qu'en étiage. Dilution et concentration de la matière minérale dissoute sont donc engendrées par les alternances de crue et d'étiage (Fig. 6).

En général, les flux d'éléments minéraux dissous ionisés augmentent très légèrement en crues par rapport aux étiages. Aussi, nous pouvons dire que l'érosion chimique est pratiquement constante au cours du cycle hydrologique. Seuls les flux de silice dissoute augmentent de plus de 40% en crue qu'en étiage.

Les plus importantes fluctuations saisonnières (rapports mensuels extrêmes par cycle, allant de 1 à 32 !) sont rencontrées pour la matière organique dissoute dont les concentrations maximales (aux alentours de 30 mg l^{-1}), s'observent en général en décembre et janvier, à la principale crue de chaque cycle et les minimales en juillet-août (étiage principal), où les concentrations sont très faibles (inférieures à 5 mg l^{-1}). De telles fluctuations et ordres de grandeurs des concentrations organiques ont déjà été enregistrées pour des affluents de rive gauche du fleuve par CLERFAYT (1956).

En période de crue, la cuvette congolaise alors inondée, libère dans le Congo une grande quantité de matière organique. Le fleuve est ainsi encombré de jacinthes d'eau et de radeaux de végétaux, arrachés aux rives par un niveau d'eau plus haut et un courant plus fort. Rinçage de la forêt inondée et végétation flottante sont à l'origine de cet enrichissement des eaux en matière organique. En décrue, les concentrations (Fig. 4d) diminuent fortement, pour atteindre leur minimum en étiage (en moyenne, sur les cinq cycles étudiés, le rapport des concentrations extrêmes en matière organique dissoute est assez élevé, de l'ordre de 14).

Si des variations saisonnières significatives sont à noter pour les dissous, il y a par contre peu de variations interannuelles dans la répartition des différents transports solides et dissous et leurs variations saisonnières se reproduisent bien d'une année sur l'autre et correspondent à la moyenne interannuelle (Fig. 1).

2.2 VARIATIONS INTERANNUELLES

Les variations interannuelles des débits de cette période d'étude (1,16) sont plus faibles que celles portant sur les 90 dernières années (1,65), pour lesquelles nous disposons de relevés

limnimétriques. Cette valeur faible de 1,16 illustre une période homogène d'écoulement, qui nous l'avons déjà signalé est déficitaire.

En revanche, les variations saisonnières des débits sont un peu plus élevées pour cette période : moyenne de 1,90 contre 1,74. Ces dernières sont dues à des étiages plus prononcés et proches des minimas observés sur ces 90 années alors que chaque crue principale correspond à peu près à la crue moyenne interannuelle.

L'année 1992, a été ainsi marquée par un niveau particulièrement bas des eaux, avec un module annuel de $34\ 100\ \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$, et un hydrogramme qui a oscillé entre février et mai, autour de la courbe des minimas relevés sur toute la chronique d'observations.

2.2.1 Les suspensions

Les résultats des dosages du **carbone organique particulaire (COP)** sur les années 1987 et 92, ainsi que ceux présentés par KINGA MOUZE0 (1986) pour l'année 1976, montrent que ses proportions ne subissent pratiquement, ni variations saisonnières ni variations interannuelles.

Les pourcentages moyens annuels de COP au sein des MES fines sont de 6,47% en 1987 et de 6,15% en 1992.

Pour la période 1987-92, les moyennes annuelles des concentrations particulières (minérales et organiques confondues), varient peu autour d'une moyenne interannuelle de $25,80\ \text{mg}\ \text{l}^{-1}$. Les extrêmes mensuels atteints durant la période d'étude étaient de 18,2 et $41,19\ \text{mg}\ \text{l}^{-1}$.

Pour obtenir une vision générale des processus de transport du fleuve, il est important d'intégrer les observations sur plusieurs années. Ainsi, nous constatons que les sables constituent en moyenne 25,7% des tonnages de particules exportées sur ces 6 années d'étude, soit le double des 13% relevés pour l'année 1987 (OLIVRY et al, 1988). Cette année, présentait une faible charge en sables avec seulement 4 millions de tonnes exportées, presque deux fois moins que la moyenne interannuelle et cela sans raison apparente, les modules correspondant, étant sensiblement identiques.

2.2.2 Les matières dissoutes

Pour les matières dissoutes, la plage de variation interannuelle est également faible, elle s'étale de 47,5 à $54,7\ \text{mg}\ \text{l}^{-1}$ avec une moyenne de $50,4\ \text{mg}\ \text{l}^{-1}$. Les extrêmes mensuels sur toute la période étudiée vont du simple au double : 39 à $87\ \text{mg}\ \text{l}^{-1}$.

La décomposition de ces matières dissoutes en matière minérale et organique, montre que ces dernières sont quasiment constantes d'une année à l'autre.

Pour les variations des autres paramètres, les rapports des moyennes extrêmes intercycles annuels, sont également plus faibles que les rapports saisonniers (moyenne mensuelle maximale/moyenne mensuelle minimale provenant de l'année moyenne de la période d'étude) : 1,13 contre 1,31 pour les concentrations totales, 1,19 contre 2,51 pour les flux totaux. La même constatation s'applique donc aux variations des bilans de matière transportées (Fig. 3).

Enfin, les transports totaux avec des extrêmes mensuels de 60,7 et $110,8\ \text{mg}\ \text{l}^{-1}$, présentent des variations intercycles très faibles autour d'une moyenne interannuelle de $76,2\ \text{mg}\ \text{l}^{-1}$.

D'une année sur l'autre, il y a donc une bonne reproduction des processus érosifs, tant mécaniques que biogéochimiques. Les quantités de matières exportées sont sous la seule dépendance des débits du fleuve.

2.3 CONCLUSION

En accord avec le régime hydrologique régulier du Congo, ces rapports saisonniers ou intercycles annuels, restent dans l'ensemble faibles et caractérisent un régime de transport également régulier. Ces régimes résultent de la combinaison de différents apports complémentaires provenant de terrains drainés variés, eux mêmes soumis aux différents régimes hydrologiques de ses affluents, suivant leurs origines australes ou boréales dans son immense bassin versant.

Les concentrations en transports solides sont faibles et indépendantes des débits.

Pour les transports dissous, on constate une évolution synchrone entre les concentrations en matière organique dissoute et les débits (Fig. 6). Ces derniers sont par contre opposés à l'évolution de la matière minérale dissoute.

Grands Bassins Fluviaux, Paris, 22-24 novembre 1993

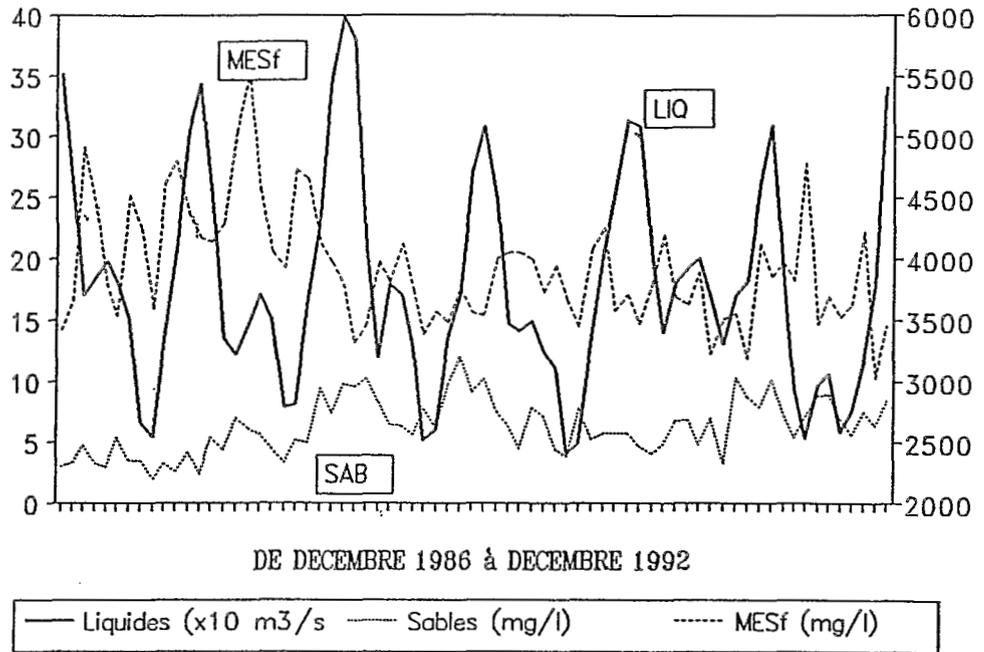


Figure 5

Variations des concentrations en sables et MESf, et débits du Congo à Brazzaville.

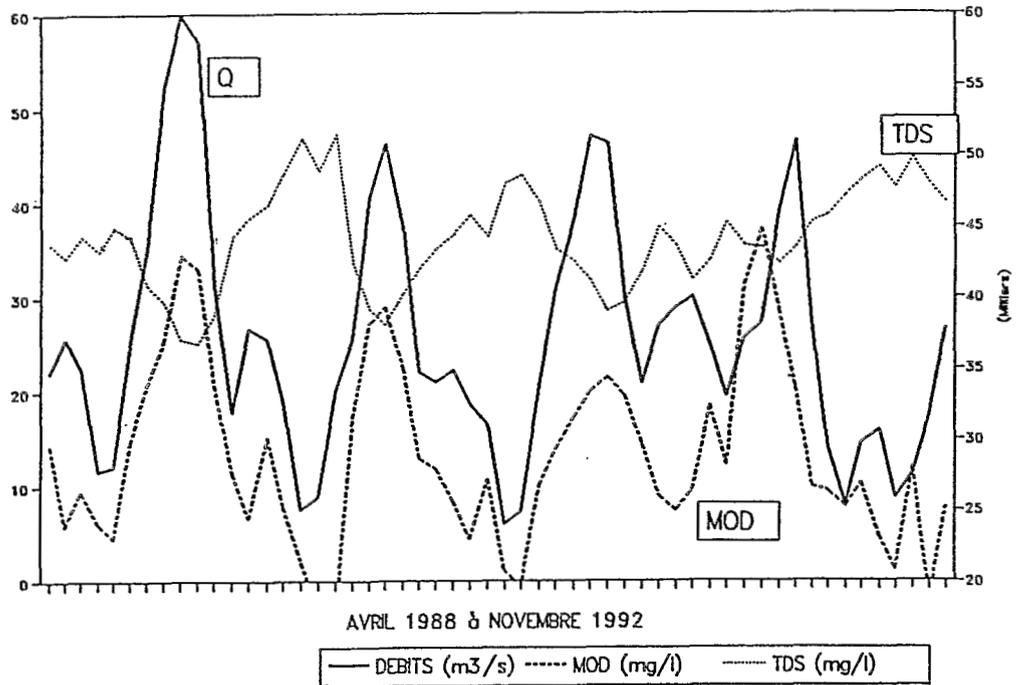


Figure 6

Variations des concentrations et des débits du Congo à Brazzaville.

3 CORRELATIONS

Il n'y a pas de relations entre les débits et les transports solides (coefficients de corrélation inférieurs à 0,3), cependant, les débits ont pu être reliés aux transports dissous (Tab. 1), avec des coefficients de corrélation convenables ($r > 0,75$).

La relation "concentrations en TDS - débits" (Fig. 7) est une fonction linéaire décroissante semblable à celles données par DERONDE et SYMOENS (1980), KINGA MOUZELO (1986), NKOUNKOU et PROBST (1987) :

$$\text{TDS} = -4,9 \times 10^{-4} \times Q + 54,42$$

$$r = 0,80$$

$$\text{avec TDS en mg l}^{-1} \text{ et } Q \text{ en m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Une fonction puissance ($\text{TDS} = 4,77 \times 10^3 \times Q^{-0,46}$), très proche de la droite précédente et comparable aux régressions de NKOUNKOU et al (1990) ou de celle de PROBST et al (1992), peut également convenir pour le nuage de points (cf tab 1).

La charge totale dissoute (CTD) étant proportionnelle à la conductivité électrique, la relation "CE - débits" est donc similaire.

Dès lors, on pourrait estimer les débits à partir de mesures de conductivité, obtenues grâce à de simples sondes portables, d'après la relation :

$$Q = 221,33 \times 10^4 \times \text{CE}^{-1,13} \text{ avec } r = 0,87,$$

où les débits sont exprimés en $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ et la conductivité électrique en $\mu\text{S cm}^{-1}$ à 25°C .

Quant à la CTD (en mg l^{-1}), elle peut être également directement évaluée à partir d'une mesure de conductivité électrique (en $\mu\text{S cm}^{-1}$ à 25°C) avec la formule :

$$\text{CTD} = 0,56 \times \text{CE}^{1,05} \text{ avec } r = 0,86.$$

Cette conductivité électrique correspond à des eaux très peu minéralisées (elle varie entre 23,5 et 48,8 autour d'une moyenne de $38 \mu\text{S cm}^{-1}$ à 25°C).

En fait, les fonctions *réciproque* et les fonctions *puissance* conviennent également, avec des coefficients de corrélation semblables, pour plusieurs équations du tableau 1. Il suffit de sélectionner la fonction dont le tracé épouse le mieux les formes, parfois légèrement courbes, des nuages de points.

Tableau 1

CORRELATIONS SIGNIFICATIVES des TRANSPORTS DU CONGO A BRAZZAVILLE (d'après 62 couples de données). TDS = matière minérale dissoute en mg l^{-1} ; CTD = charge totale dissoute en mg l^{-1} ; MOD = matière organique dissoute en mg l^{-1} ; CE = conductivité électrique en $\mu\text{S/cm}$ à 25°C ; TT = transports totaux de matière en kg s^{-1} ; Q = débits en $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$; R = coefficient de corrélation ; ET = écart type.

	CORRELATIONS	R	ET
TDS	$-4,90 \times 10^{-4} \times Q + 54,42$	0,80	2,13
TDS	$-4,77 \times 10^{-3} \times Q^{-0,46}$	0,81	1,86
CTD	$3,90 \times 10^4 \times Q^{-0,69}$	0,84	2,31
MOD	$7,90 \times 10^{-4} \times Q - 16,60$	0,68	4,29
TT	$9,47 \times 10^3 \times Q^{-1,19}$	0,92	1,95
CE	$4,48 \times 10^4 \times Q^{-0,67}$	0,87	1,70
TDS	$2,63 \times \text{CE}^{0,71}$	0,83	1,26
CTD	$0,56 \times \text{CE}^{1,05}$	0,86	1,36
MOD	$-1,15 \times \text{CE} + 56,66$	0,74	5,36
TT	$34,45 \times 10^4 \times \text{CE}^{-1,34}$	0,87	1,58
Q	$221,33 \times 10^4 \times \text{CE}^{-1,13}$	0,87	1,36

4 EXTRAPOLATIONS

En raison des faibles variations de concentration rencontrées, les flux et exportations de matière restent contrôlés par les puissants débits du fleuve et par conséquent évoluent parallèlement

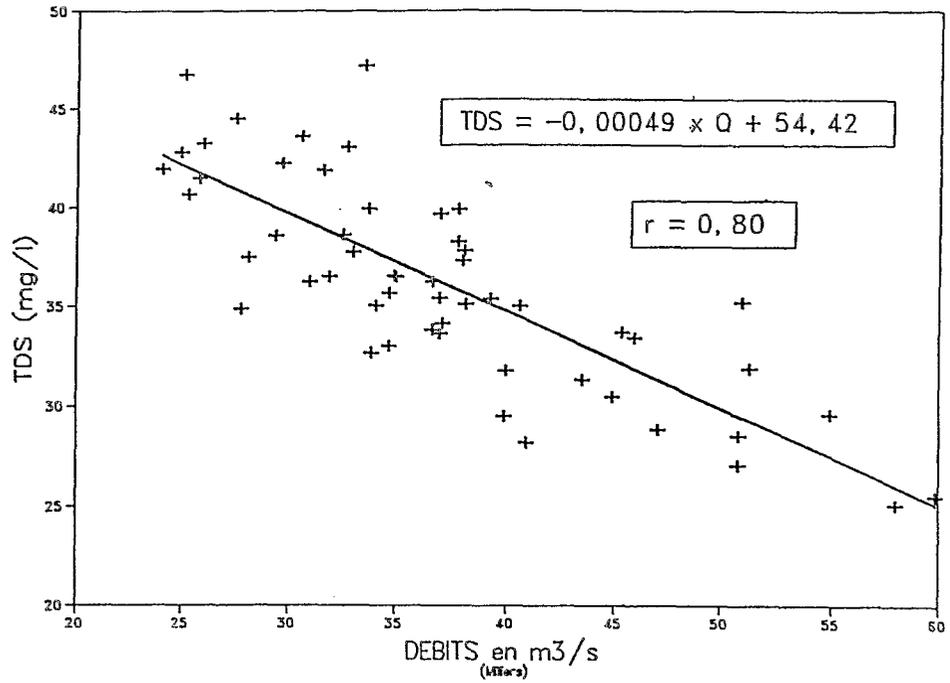


Figure 7
Corrélation entre matière minérale dissoute et débits du Congo à Brazzaville

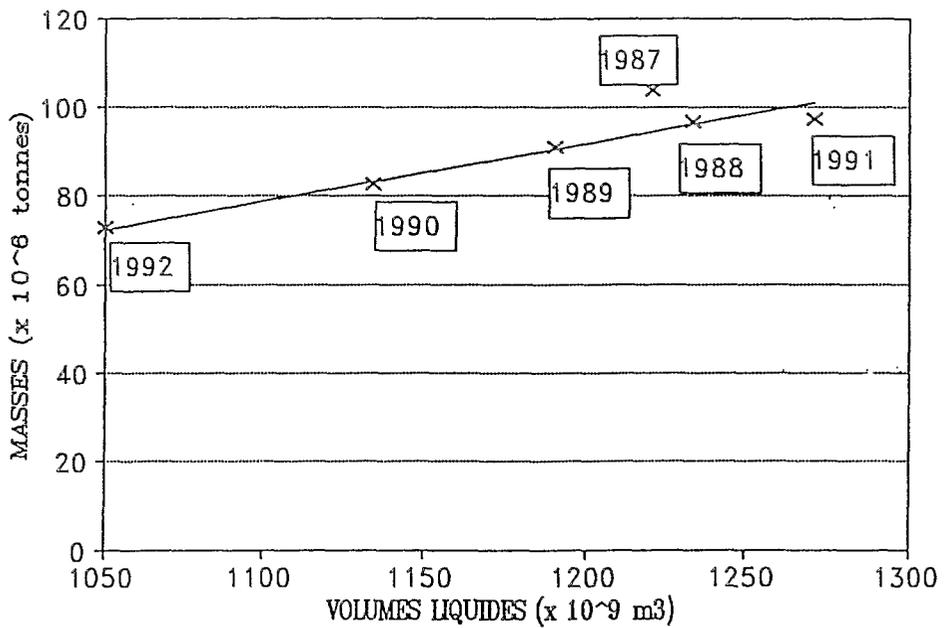


Figure 8
Exportations annuelles de 1987 à 1992. $Y = 0,13X - 64,29$; $r = 0,92$

(Fig. 2 a et b). La figure 8 montre une relation étroite entre tonnages de matière (Y) et volumes liquides exportés (X en m³) : $Y = 0,13 \times X - 64,29$ avec un coefficient de corrélation de 0,92.

Pour la série étudiée, c'est l'année 1992 qui a été la moins "active" par rapport aux années 1987, 1988 et 1991, plus productives.

Le module interannuel du Congo de 40 600 m³ s⁻¹, correspondant à une exportation de 1 280 x 109 m³ an⁻¹, permet, en appliquant la relation précédente, d'évaluer à 102 x 106 tonnes de matière, l'exportation interannuelle moyenne du fleuve. Cela correspond à un flux total de matière de 3240 kg s⁻¹ et donc à une exportation spécifique de 29,14 t km² an⁻¹, dont 33,4% sous forme particulaire et 66,6% sous forme dissoute.

A partir des chroniques de débits, il paraîtrait dès lors possible de reconstituer des chroniques de flux de matière.

Mais de telles extrapolations sont encore à considérer avec circonspection dans la mesure où notre étude a porté sur une période d'écoulement déficitaire qui doit probablement affecter la représentativité des mesures de flux de matière.

Aussi, serait-il souhaitable de poursuivre ces observations lors du retour à un régime hydrologique normal, voire excédentaire pour apprécier les éventuelles répercussions sur les transports solides et dissous.

5 DEGRADATIONS SPECIFIQUES

Pour notre période d'étude, l'exportation spécifique totale de matière (moyenne de 26,3 t km⁻² an⁻¹), est stable d'une année à l'autre avec une variation interannuelle de 1,20. Les variations interannuelles des exportations solides et dissoutes sont identiques.

Avec 12,1 t km⁻² an⁻¹ d'éléments mis en solution, l'**altération chimique**, constante d'une année sur l'autre (rapport des extrêmes = 1,14), domine sur l'érosion mécanique. Viennent ensuite les **exportations de matière organique** avec 5,39 t km⁻² an⁻¹ qui varient un peu plus d'une année sur l'autre (rapport des extrêmes = 1,55).

Avec une **érosion mécanique** de 8,8 t km⁻² an⁻¹ (valeur proche de celle donnée par GIBBS, 1967), le fleuve Congo montre une dégradation faible par rapport aux grands fleuves de la planète (de superficie de bassin versant supérieure à 400 000 km² et de module supérieur à 5 000 m³ s⁻¹), qui ont des valeurs bien plus élevées : Fleuve Jaune (1450), Brahmaputre (1370), Colorado (870), Ganges (537), Mékong (435), Amazone (143), etc ... (MEYBECK, 1976 et 1984). Au sein du continent africain, le fleuve Congo devance seulement le fleuve Sénégal qui a une dégradation spécifique calculée sur 9 ans de 16,7 t km⁻² an⁻¹ (Orange, 1992).

Son altération biogéochimique de 17,5 t km⁻² an⁻¹, le place en trentième position mondiale et en première position pour l'Afrique juste avant le Zambèze.

Ces comparaisons sont indicatives et méritent d'être réévaluées. En effet, d'une part, les modes opératoires et les méthodes de calculs varient en fonction des auteurs et des époques d'étude, et ne concernent pas toujours des moyennes interannuelles, qui de plus n'ont pas été établies aux mêmes périodes.

D'autre part, les exportations spécifiques calculées ici, ne sont pas corrigées par les apports atmosphériques, dont l'influence relative est d'autant plus importante que les eaux sont peu chargées. Ainsi, pour les matières dissoutes, NKOUNKOU et PROBST (1987) estiment ces apports à 34% de leurs tonnages.

Les valeurs d'érosion intrinsèque du bassin versant seront donc plus faibles.

CONCLUSION

La grande régularité saisonnière et interannuelle du régime hydrologique du fleuve Congo et de ses transports solides et dissous, résulte des dynamiques complémentaires de ses affluents. Ceux-ci drainent des sous-bassins aux végétations et géomorphologies différentes, situés de part et d'autre de l'équateur.

Face à un important module hydrologique (40 600 m³ s⁻¹), la quantité de matière transportée est faible : 91,8 tonnes/an et correspond à un flux solide de 2914 kg s⁻¹. Le transport est dominé par la fraction soluble (66%), dont 28% proviennent de la matière organique dissoute.

Ce type de transport correspond à une dynamique érosive en phase terminale ($26,2 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ - "sans correction des apports atmosphériques"), sur un relief ancien fortement pénéplané (pente du fleuve inférieure à 10 cm km^{-1} et de l'ordre de 3 cm km^{-1} dans la cuvette centrale), soumis à un lessivage intense sous climat équatorial humide, et à moitié recouvert d'une forêt dense.

L'érosion mécanique faible (34% de l'exportation spécifique globale), fait ainsi place à l'altération biogéochimique (66%). Au sein de l'exportation spécifique globale, c'est l'altération chimique (47,5%) qui domine "relativement" (car elle reste faible, les sols ayant déjà libérés la plus grande partie de leurs éléments solubles), avec une part significative de matière organique dissoute (18,5% de l'exportation spécifique) qui provient de la forêt.

Cette dynamique est à rapprocher de celle du Rio Négro, second affluent de l'Amazonie, qui circule essentiellement sous la forêt amazonienne. Elle diffère cependant de celle de l'Amazonie, dont les eaux charrient de grandes quantités de matière (4 à 5 fois plus de MES), provenant principalement de l'érosion intensive du flanc oriental des Andes, cordillère jeune et en surrection continue. Son érosion mécanique spécifique ($143 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$) est 16 fois plus élevée que celle du Congo.

La contribution du fleuve Congo aux océans est importante ; elle totalise la moitié des apports africains en eau douce à l'océan Atlantique. Pour tout le continent, ses exportations hydriques et de matières dissoutes, représentent respectivement 38 et 40%, pour seulement 7% de matières en suspension.

BIBLIOGRAPHIE

- CADEE G.C, 1982. "Organic carbon and phytoplankton in Zaïre river, estuary and plume". In : Transport of carbon and minerals in major world rivers, Part I, ed E.T DEGENS, pa 429-432.
- CLERFAYT A, 1956. "Composition des eaux de rivières du Congo - Influence des facteurs géologiques et climatiques". Centre belge d'étude et de documentation des eaux, v.31, n° 31, pa 26-31.
- DERONDE.L et SYMOENS.J.J, 1980. "L'exportation des éléments dominants du bassin du fleuve Zaïre : une réévaluation". Annals Limnol. 16(2), p 183 - 188.
- DEVROEY.E, 1941. "Le bassin hydrographique congolais, spécialement celui du bief maritime". Inst. Roy. Col. Belge, Sec. Sc. Techn. Mém. - Coll. 8°, III (3), p 3-160.
- GAC.Y, 1980. "Géochimie du bassin du lac Tchad" - Travaux et documents de l'ORSTOM, n°123, 251 p.
- GIBBS R. 1967. "The geochemistry of the Amazon river system. Part 1 : the factors that control the salinity and the concentration of suspended solids". Geol. Soc of Amer. Bull., 78, p 1203-1232.
- HOLEMAN J.N 1968. "The sediment yield of major rivers of the world". Wat. Resour. Res., 4(4), p 737-747.
- KINGA MOUZEO (1982) "Les suspensions organiques et minérales du fleuve Congo. Première approche d'un bilan". Rapport DEA, Univ de Perpignan, 54 p.
- KINGA MOUZEO (1986) "Transport particulaire actuel du fleuve Congo et de quelques affluents; enregistrement quaternaire dans l'éventail détritique profond (sédimentologie, minéralogie et géochimie)" - Thèse de doctorat - Université de Perpignan - 251 p.
- LARAQUE A, BRICQUET J P, 1993. "Rapport factuel et banque de données du programme PEGI/GBF sur le fleuve Congo, de 1987 à 1992 " - rapport interne - laboratoire d'hydrologie - Centre ORSTOM de Brazzaville - déc 1993.
- MEYBECK.M, 1976. "Total mineral dissolved transport by world major rivers" - Hydrological Sciences - Bulletin des Sciences Hydrologiques, XXI, 2 6/1976, p 265-284.
- MEYBECK.M, 1984. "Les fleuves et le cycle géochimique des éléments" - Thèse de doctorat d'état n° 84-85, Univ Pierre et Marie Curie, (Paris VI), 449 p.
- MOLINIER.M, 1979. "Note sur les débits et la qualité des eaux du Congo à Brazzaville". cah ORSTOM, série Hydrol, XVI, 1, p 55-66.

- NEDECO, 1959. "River studies, Niger and Benue". North Holland Publ. C. Amsterdam 1000 p.
- NKOUNKOU.R.R, 1985. "Transports dissous et particulaires par le fleuve Congo - Bilans de l'altération et de l'érosion d'un grand bassin forestier tropical" - rapport de DEA de l'ULP de Strasbourg, 42 p.
- NKOUNKOU.R.R et PROBST.J.L, 1987. "Hydrology and geochemistry of the Congo River System" - Mitt Geol. - Palaont. Inst Univ. Hambourg, p 483-508.
- NKOUNKOU.R.R, KREMPP G, PROBST J.L, 1990. "Géochimie et hydrologie des eaux de surface : exemple du bassin du fleuve Congo" - Journées laboratoires ORSTOM BONDY, 18-20 sept 1990, coll ORSTOM : colloques et séminaires, 12 p.
- OLIVRY. J.C, 1986. "Opération transport de matières sur le bassin du fleuve Congo". rapport ORSTOM, Brazzaville, 45 p, multigr.
- OLIVRY. J.C, BRICQUET et al, 1988. "Transport de matières sur les grands fleuves des régions intertropicales. Les premiers résultats des mesures de flux particulaires sur le bassin du fleuve Congo". In sediment budgets. Symp de Porto Alegre, décembre 1988, IAHS, publi. n°174, p 509-521.
- PROBST J.L, NKOUNKOU.R.R, KREMPP G et al, 1992. "Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangui rivers during the period 1987-89". Journal of Hydrology, 7 p.
- SPRONCK R, 1941. "Mesures hydrographiques effectuées dans la région divergente du bief maritime du fleuve Congo". Mém. Inst. Roy. Coll. Belge, Sci. Techn. Coll. 3 (1), p 3-56.
- VAN DER LIDEN. M.J. H, 1975. "Reactions between acids and leaf litter". Premier colloque Int. Biodegradation et humification. Thèse de doctorat - Université de Nancy.
- VAN MIERLO J.G, 1926. "Le mécanisme des alluvions du Congo". Annals. ass. ingr. Ec. Gand (5), 16(3), p 349-354.

LISTE DES ABREVIATIONS

SAB	=	sables = fraction > 50 µm
MESg	=	matières en suspension grossières = fraction > 50 µm, assimilé ici aux sables
MESf	=	matières en suspension fines = fraction comprise entre 0,45 et 50 µm
MES _t	=	matières en suspension totales = MESg (ou SAB) + MESf, donc la fraction > 0,45 µm
MES	=	matières en suspension en général, soit la fraction > 0,45 µm
	=	MES _t = MESg (ou SAB) + MESf
MMD	=	matière minérale dissoute = traduction française de TDS
CTD	=	charge totale dissoute = cations + anions
TDS	=	total dissolved solids = CTD + SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
MOD	=	matière organique dissoute
COP	=	carbone organique particulaire
COD	=	carbone organique dissous
MD	=	matière dissoute = MMD (ou TDS) + MOD, elle correspond au résidu sec à 105°C
		(note : l'unité de dosage de ces concentrations est en mg l ⁻¹)
Q	=	débites en m ³ s ⁻¹
CE	=	conductivité électrique en µS cm ⁻¹ à 25°C