

## VARIATIONS SAISONNIERES ET FLUX DE QUELQUES ELEMENTS MAJEURS DANS TROIS RIVIERES DE GUYANE FRANÇAISE

M. LOINTIER

### RESUME

Deux années de prélèvement, à résolution temporelle élevée, dans les eaux de trois rivières du Département de la Guyane, permettent de préciser les variations de concentration des eaux et les flux de trois bassins versants appartenant au milieu tropical forestier humide. Les bassins étudiés sont exempts de toute modification anthropique. Leur géologie est essentiellement constituée par des roches plutoniques. Les surfaces sont comprises entre les ordres de grandeur de  $10^3$  à  $10^4$  km<sup>2</sup>, et représentent, à l'embouchure, 30% des apports d'eau douce du plateau des Guyanes, à la mer. L'étude s'est déroulée pendant une année à hydraulicité très élevée (50% au dessus de la moyenne), et une année proche de la normale.

Ceci nous a permis de comparer les variations de contenus en matières en suspension (MES) et les variations de concentrations en calcium, chlorures et silice dissoute, selon deux critères : l'hydraulicité et le facteur d'échelle.

- -pour les MES, nous avons observé qu'une forte hydraulicité est un facteur minorant, et que les contenus moyens sont inversement proportionnels à la surface du bassin.
- -pour les éléments dissous cités, l'hydraulicité est sans effet particulier, et il n'y a pas d'incidence du facteur d'échelle. Pour les chlorures, les valeurs absolues sont très voisines et indiquent un apport univoque qui a été attribué aux pluies. Une relation générale liant les débits spécifiques des bassins aux flux spécifiques a été proposée. Pour les autres éléments, chaque bassin possède ses valeurs spécifiques que l'on doit attribuer à la géologie et aux mécanismes de mobilisation.

Pour chaque élément, nous avons recherché les indices pouvant apporter des informations sur leur origine et les mécanismes de mobilisation.

A l'échelle temporelle, la comparaison des concentrations quotidiennes de silice avec les débits, montre une relation inverse et synchrone, remarquable sur tous les bassins.

Les flux nets mensuels ont pu être calculés grâce à la bonne connaissance des débits aux trois stations.

### I INTRODUCTION

Le Département de la Guyane est dotée depuis 1950, d'un réseau de mesures de hauteurs d'eau, et d'un dispositif d'exploitation géré par l'Orstom, permettant de connaître les débits instantanés en dix points de mesures répartis sur les principaux bassins versants du Département.

Depuis 1965, les contenus en matières en suspension (MES) et les paramètres physico-chimiques des eaux ont été déterminés, soit d'une façon sporadique, soit systématique, à l'occasion d'études localisées dans les estuaires ou en rivière (Berthois & Hoorelbeck, 1968 ; Dubreuil, *et al.*, 1974 ; Roche, 1978 ; Fritsch, 1984, 1986, 1990 ; Lointier, 1984, 1990 ; Humbel, 1989). Les missions de maintenance des stations du réseau, ont également donné lieu depuis 1984, à quelques mesures physico-chimiques des eaux, très ponctuelles dans le temps : la rivière Mana, le fleuve Approuague, le Maroni, par exemple. La première opération de suivi régulier des MES sur les fleuves, revient à Jouanneau et Pujos (1986), qui ont analysé 200 échantillons provenant du Maroni et de la Comté sur une période d'un an (juin 1984-mai 1985).

En 1989, une campagne de mesure a été mise en place, pour une durée de deux ans, à proximité de trois stations du réseau de mesure hydrologique, à raison d'un prélèvement tous les deux jours, soit 180 prélèvements par an et par station.

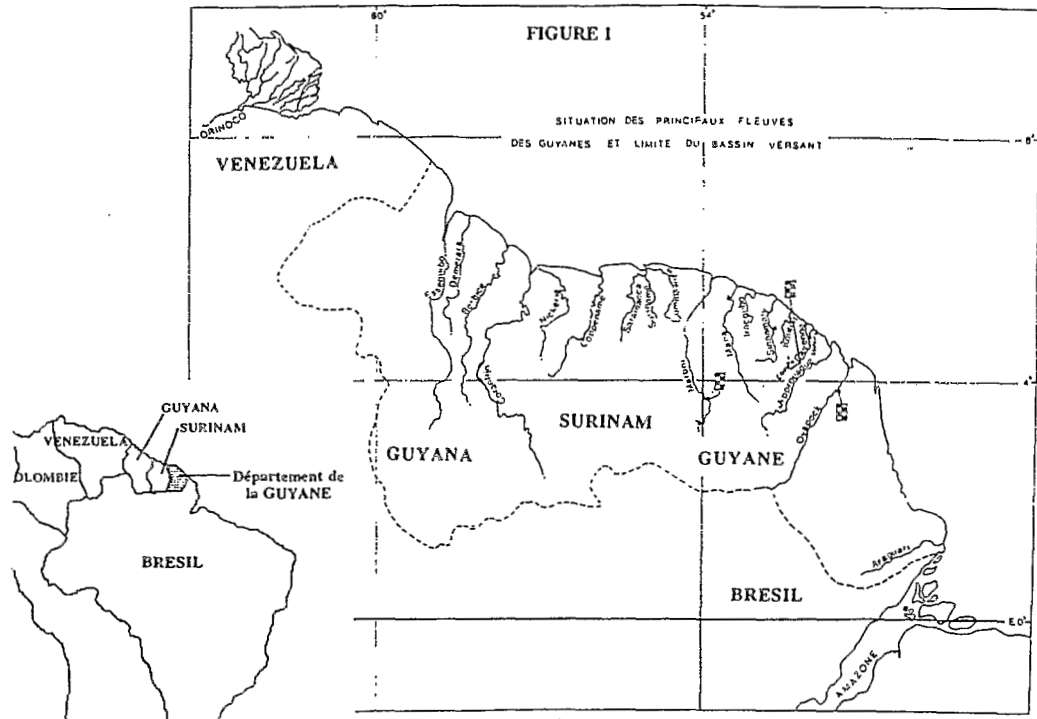
Les objectifs de notre étude convergeaient avec certains aspects du programme Insu/Orstom sur les grands bassins fluviaux péri-Atlantiques :

- bilan global précis des exportations de matières dissoutes et particulières vers l'Atlantique.
- fluctuations saisonnières et interannuelles de ces transports et de leur composition.

Nous présentons les résultats des mesures de pH, conductivité, Matières En Suspension, Calcium, Chlorure et silice, obtenues sur les trois bassins versants des rivières Comté, Lawa et Oyapok. Les autres éléments chimiques n'ont pu être mesurés pour des raisons logistiques.

## II - ZONE D'ETUDE

Le département de la Guyane appartient au plateau des Guyanes (Fig. 1), dont la superficie est de 467 000 km<sup>2</sup>. La surface totale drainée par les bassins versants du Département de la Guyane représente 28% de cette entité géographique, sachant que deux fleuves, le Maroni et l'Oyapok sont frontaliers, respectivement avec le Surinam et le Brésil. L'ensemble des rivières et des fleuves coulent vers l'Atlantique, marquant ainsi leur individualité par rapport au bassin Amazonien, géographiquement voisin.



**Figure 1 :**

*Localisation des principaux fleuves du plateau des Guyanes et limites du bassin versant. L'ensemble des fleuves et rivières s'écoulent vers le nord, se distinguant ainsi du système Amazonien. Les limites territoriales du sud des "trois Guyanes" sont constituées par la ligne de crête les séparant du bassin versant Amazonien. Le Département de la Guyane est séparé du Brésil, à l'est, par le fleuve Oyapok, et du Surinam, à l'ouest, par le fleuve Maroni.*

Le relief de la zone d'étude est peu marqué, compris entre 100 et 200 mètres en moyenne, avec quelques rares sommets ne dépassant pas 800 m (inselbergs).

Le climat est de type tropical humide avec une température oscillant entre 22° et 31 °C. La position de la Zone Intertropicale de Convergence (ZIC) conditionne le cycle hydrologique annuel, avec un épisode principal de la saison des pluies en mai-juin et un épisode mineur de décembre à janvier. La température des eaux varie entre 25 et 28 °C sur la plupart des fleuves et des rivières.

L'essentiel de la végétation est en forêt primaire qui a un taux de recouvrement voisin de 98% de l'ensemble du département. Cette zone de forêt primaire est très peu habitée sauf par les Amérindiens et aucune déforestation majeure n'y a été pratiquée.

Les trois bassins versants (Fig. 2) sélectionnés pour cette étude sont totalement recouverts de forêt naturelle, sans aménagements ou déforestation, comme en témoigne les données du satellite radar ERS1 (Lointier, *et al.* 93), obtenues en 1992.

Les surfaces des bassins versants sont les suivantes :

- ⇒ la Comté à saut Bief : surface contrôlée 1 760 km<sup>2</sup>
- ⇒ la Lawa à Maripasoula : surface contrôlée 28 285 km<sup>2</sup>, partagée avec le Surinam.  
Deviens le fleuve Maroni en aval de Maripasoula.
- ⇒ l'Oyapok à saut Maripa : surface contrôlée 25 120 km<sup>2</sup>, partagée avec le Brésil.

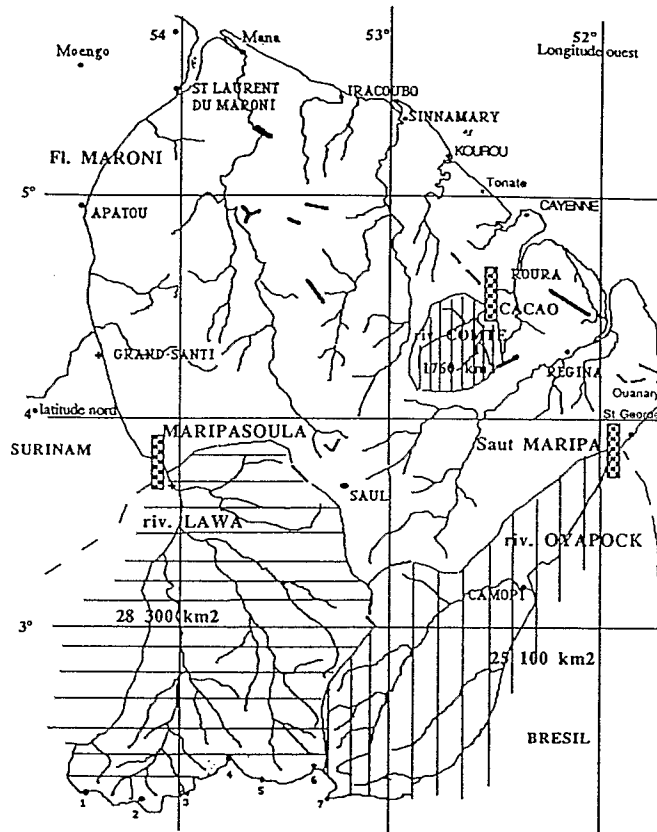


Figure 2 :

Département de la Guyane. Localisation des prélèvements et des stations hydrologiques.

L'exploitation de la carte géologique (Choubert, 1978), indique qu'il s'agit de terrains anciens, d'origine précambrienne (2700-2500 Ma). Le calcul de la surface relative à chaque formation géologique (fig 3), montre que les deux demi-bassins de saut Maripa et de Maripasoula, situés sur le territoire français, sont constitués essentiellement de roches plutoniques (de 50 à 90 %). Le bassin de la Comté est le seul à comporter 20 % de roches d'origine volcanique. Il n'existe pas d'évaporites sur les zones étudiées.

Sur les trois bassins versants, les sols sont ferrallitiques typiques, sur matériaux granitiques, et complexe volcano-sédimentaire. En moindre extension, ceux-ci sont en association avec les sols hydromorphes de fond de vallée.

### III - MATERIELS ET METHODES

#### 1) Prélèvements

Les mesures se sont déroulées du 15 juillet 1989 au 15 juillet 1991.

Les stations de mesure retenues pour cette expérimentation appartiennent au réseau hydrométrique de base du département, disposant, soit d'une échelle lue quotidiennement, soit d'un limnigraphe (Comté), et dont les séries de débits sont connues depuis plus de vingt cinq ans.

Les échantillons de 1 litre, prélevés au milieu de la rivière, ont été transportés au laboratoire de chimie de l'Orstom de Cayenne, chaque semaine par avion, et par la route pour ceux de la Comté.

Les délais d'acheminement, avant analyse, ont été de l'ordre de 7 à 10 jours. Ces problèmes de logistique ajoutés au budget alloué, nous ont conduit à éliminer certaines analyses nécessitant un traitement sur place. Au total 700 prélèvements ont été effectués, nombre inférieur à la prévision (900), suite à la défaillance de l'observateur de Saut Maripa, la seconde année.

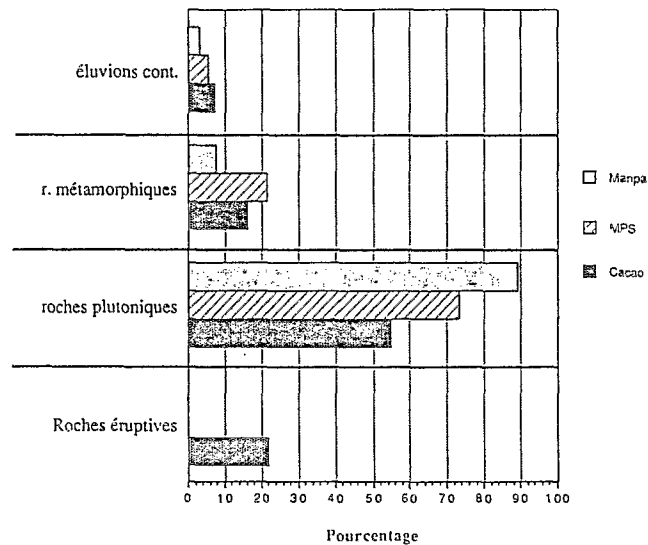


Figure 3

Géologie des bassins versants étudiés. Pourcentage de la surface de chaque formation, pour les trois bassins versants de Maripasoula (MPS), Cacao et Saut Maripa. Les deux demi-bassins de Saut Maripa et de Maripasoula, situés sur le territoire français, sont constitués à plus de 50 % par des roches plutoniques. Le bassin de la Comté est le seul à posséder 20% de roches éruptives.

## 2) Mesures

Les mesures pratiquées au laboratoire de chimie de l'Orstom de Cayenne ont porté sur : pH, conductivité, MES,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , silice et résidus secs (ces derniers seulement pendant quelques mois). Les ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et l'alcalinité n'ont pu être mesurés pour les raisons évoquées plus haut, limitant l'étude au bilan global des exportations de matières particulaires et aux fluctuations saisonnières des éléments mesurés.

Tous les échantillons ont été filtrés sur Millipore à  $0,8 \mu\text{m}$  et analysés par les méthodes classiques : absorption atomique pour le calcium, dosage colorimétrique (acide silicomolybdique réduit) pour la silice, et méthode potentiométrique (électrode d'argent) pour les chlorures.

## IV - RESULTATS

### 1) Régimes hydrologiques :

Une localisation des différents fleuves dans leur contexte hydrologique et géographique du plateau des Guyanes est présentée dans la figure 4. Les bilans d'exportation d'eau douce vers l'Atlantique montrent que ceux-ci représentent 8% de l'apport Amazonien, et 45% de celui de l'Orénoque. Leur distribution sur 1600 kilomètres de côte, permet d'observer une absence d'estuaires importants sur deux portions de côte de 300 km, le premier entre l'Araguari et l'Oyapok, le second entre l'Essequibo et l'Orénoque.

Les débits moyens interannuels aux stations les plus aval du réseau hydrologique de la Guyane ont été utilisés pour préciser les apports d'eau douce de cette partie du plateau des Guyanes. Le tableau 1 montre que l'ensemble Maroni et Oyapok représente à lui seul 59% de l'apport d'eau douce de la Guyane, avec 85,7 milliards de  $\text{m}^3$  par an, soit 30 % de l'apport total du plateau des Guyanes.

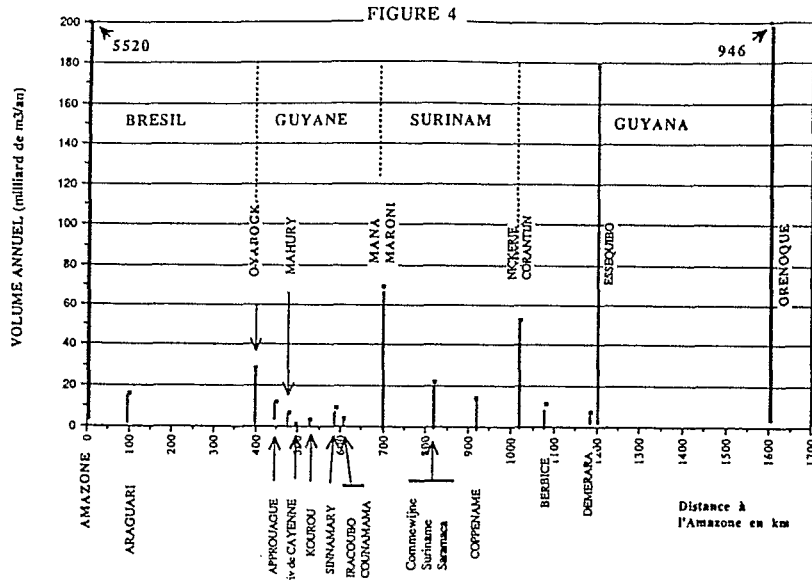


Figure 4

Volume moyen annuel des apports à la mer des principales rivières et fleuves du plateau des Guyanes (Eisma & Van der marel, 1971 ; Lointier, 1984-1988 ; Nedeco, 1968). La localisation de chaque rivière en fonction de la distance à l'embouchure de l'Amazone, permet d'apprécier la distribution géographique de ces apports le long de la côte, et leur part totale relative par rapport à l'Amazone (8%) et à l'Orénoque (45%).

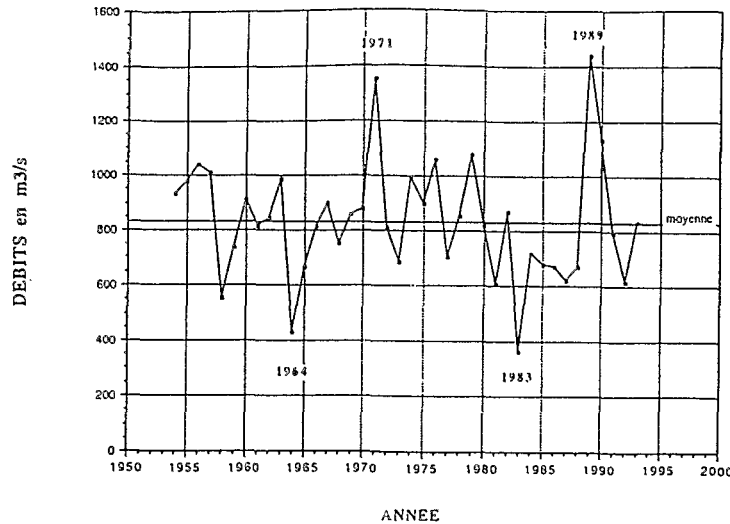
Tableau 1 :

Estimation des volumes d'eau douce apportés par les fleuves à l'océan (Lointier & Probst, 1988). Le débit moyen annuel est calculé à partir des débits de la station la plus aval du fleuve, sur des périodes comprises entre 25 et 40 ans. On utilise le rapport "surface du bassin versant à l'embouchure / surface à la station" pour déterminer l'apport à la mer. Le Maroni et l'Oyapok représentent 59% de l'apport total de la Guyane.

\* Bassins versants dépourvus de station de contrôle. Estimation effectuée à partir de la courbe débits spécifiques / surface (Reuillon, 1986).

FLEUVE	SURFACE à l'embouchure km <sup>2</sup> .10 <sup>3</sup>	DEBIT MOYEN à l'embouchure m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	VOLUME ANNUEL à l'embouchure m <sup>3</sup> .an <sup>-1</sup> .10 <sup>9</sup>
OYAPOCK	26.86	897	28.3
APPROUAGUE	10.25	369	11.6
MAHURY	3.47	200	6.31
CAYENNE *	0.72	42	1.32
KOUROU *	1.94	112	3.53
SINNAMARY	6.50	288	9.08
IRACOUBO *	1.48	74	2.33
COUNAMAMA *	0.90	45	1.42
MANA	12.09	377	11.9
MARONI	65.83	1840	57.4
Total	130.04	4244	133.2

Ces moyennes ne rendent pas compte de la variabilité interannuelle des régimes (Fig. 5), dont l'évolution, depuis l'origine des mesures (1954), a été marquée par deux années sèches (1964 et 1983) et deux années très humides (1971 et 1989). Ainsi, les modules annuels de l'Oyapok à Saut Maripa ont été respectivement inférieurs de moitié et supérieurs de 60% au module moyen interannuel (834 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>). C'est lors de ce dernier épisode hydrique très excédentaire de 1989, que la campagne de mesure chimique a débuté.



**Figure 5**

Variation des débits moyens annuels à saut Maripa sur l'Oyapok, depuis l'origine des mesures hydrologiques (1954). Cette série chronologique traduit la variabilité interannuelle très marquée, avec des valeurs extrêmes de modules annuels variant du simple au triple. Aucun cycle particulier n'a été mis en évidence (Humbel, 1989), par analyse fréquentielle de Fourier. On peut simplement remarquer que 7 et 6 ans séparent respectivement les années les plus humides (1971 et 1989) des plus sèches (1964 et 1983), à 18 et 19 ans d'intervalle. Les mesures chimiques ont débuté pendant cette dernière période très humide de l'année 1989.

## 2) Régimes hydrologiques pendant la période de mesures (Fig. 6) :

Pour les trois stations, les débits moyens mensuels (courbe noire), ont été mis en regard de l'histogramme moyen interannuel, afin d'apprécier les déficits ou les excédents mensuels. On constate que globalement, les années 1989 et 1990 ont été largement excédentaires. De juillet 89 à juillet 90 (première année de mesures), on observe les débits élevés à partir d'octobre 89 et pendant la saison des pluies, pour les trois stations.

La seconde année de mesure (Juillet 90-juillet 91) appartient à un cycle légèrement déficitaire, dont la cause est une faible chute des débits entre février et avril, alors que la saison humide est proche de la normale.

Ces différences importantes d'hydraulicité nous ont conduit à distinguer ces deux années lors de l'analyse des données chimiques et de l'incidence sur les concentrations mesurées. Les valeurs du tableau 2 indiquent les écarts à la moyenne interannuelle, calculée de janvier à décembre, sur 16 ans pour Saut Bief, 30 ans pour la station de Maripasoula et 40 ans pour Saut Maripa.

Les années 89 et 90 sont assez exceptionnelles et les valeurs montrent une hydraulicité globalement supérieure de 40%, avec un extrême de 72% en 1989, sur l'Oyapok. L'année 91 est par contre plus déficitaire sur la Comté (-17%) que sur l'Oyapok (-5%).

## 3) Moyennes annuelles des paramètres mesurés (tableau 3) :

Celles-ci ont été réalisées du 15 juillet 89 au 15 juillet 90 (A1), pour la première année d'observation à forte hydraulicité (+50%).

La seconde période, du 15 juillet 90 au 15 juillet 91 (A2), correspond à une hydraulicité un peu inférieure à la moyenne.

En dépit de ce fort contraste, on constate une grande similitude des valeurs moyennes pour tous les paramètres, sauf pour les MES. A cette échelle de comparaison, celles-ci sont inversement proportionnelles au débit.

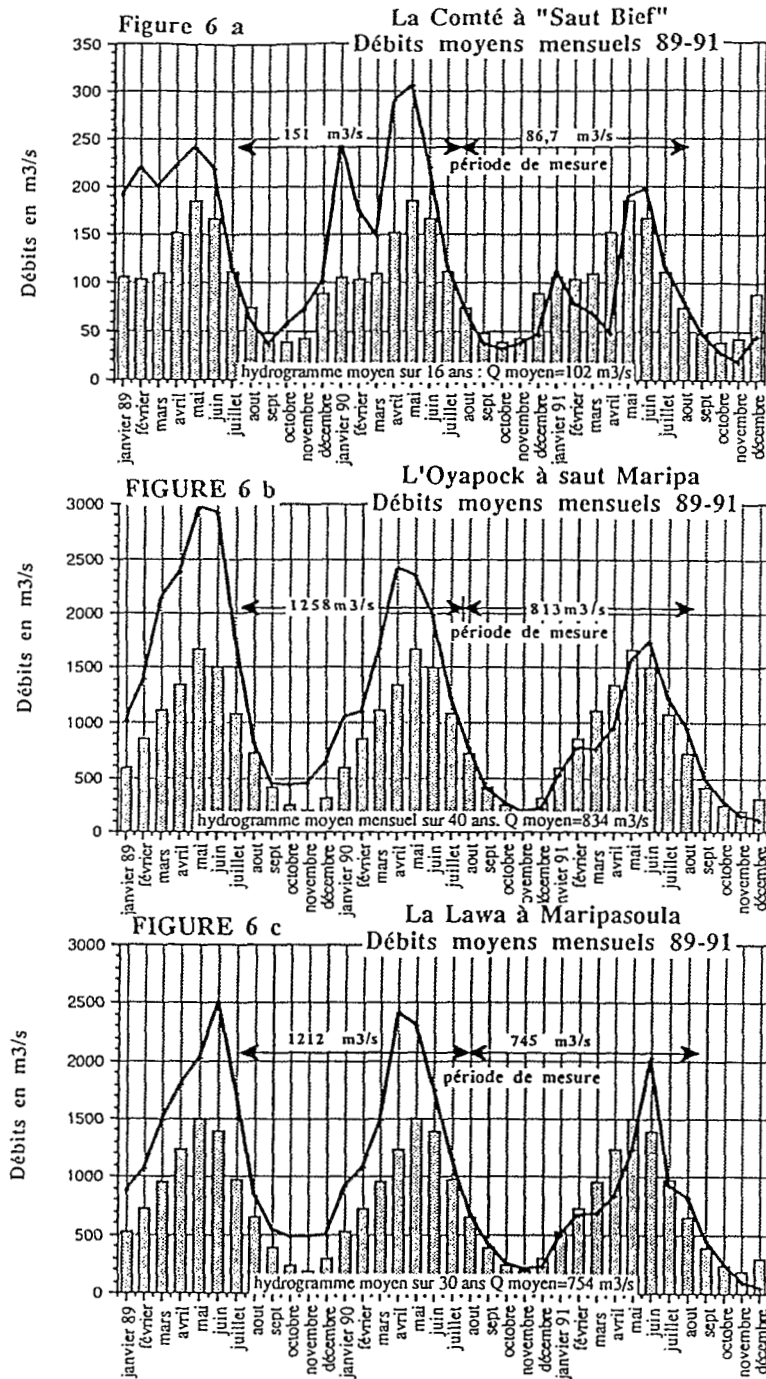


Figure 6

Hydrogrammes moyens mensuels aux trois stations. L'hydrogramme des années 1989 à 1991 (courbe noire) est mis en regard de l'hydrogramme moyen interannuel (histogramme en gris, répété trois fois), afin d'apprécier les différences d'hydraulicité pendant la période de mesures chimiques, du 15 juillet 1989 au 15 juillet 1991. Cette période comprend une année nettement excédentaire, jusqu'au mois de juillet 1990, puis une année légèrement déficitaire jusqu'en juillet 1991, par une montée de l'hydrogramme annuel plus faible que la normale. Ce constat nous a conduit à analyser les données sur deux périodes annuelles distinctes, afin d'observer si ces différences d'hydraulicité avaient un effet particulier sur les paramètres chimiques mesurés.

**Tableau 3 :**  
Moyennes annuelles des paramètres mesurés. MPS = Maripasoula

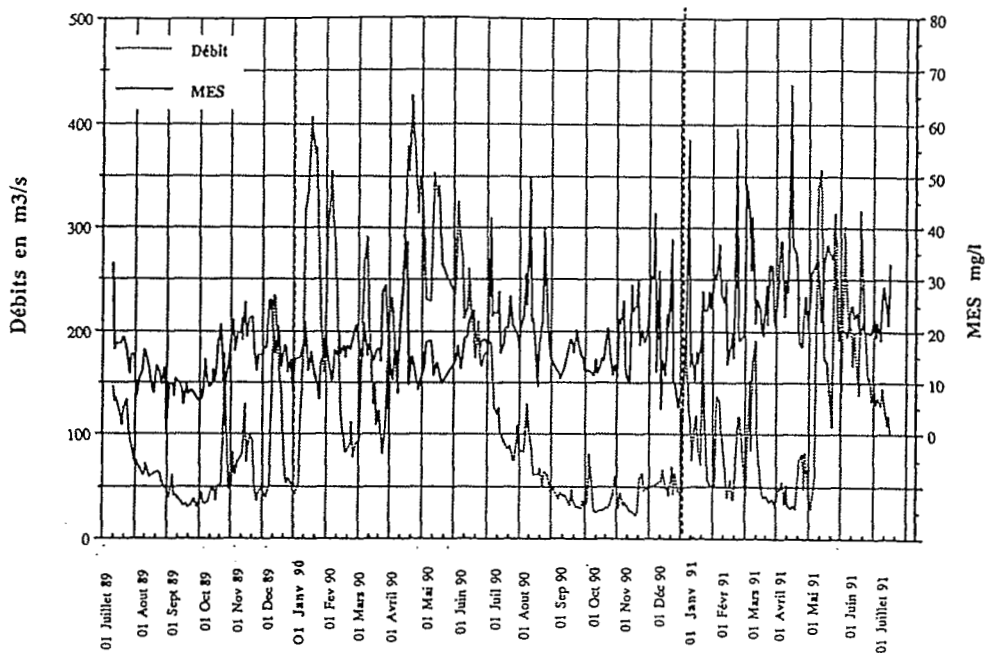
	Débit $m^3 s^{-1}$	Lame écoulée mm	hydrau.	Cond. $\mu S.cm^{-1}$	MES $mg.l^{-1}$	Ca <sup>++</sup> $mg.l^{-1}$	Cl <sup>-</sup> $mg.l^{-1}$	silice $mg.l^{-1}$
Cacao A1	151	2706	+48%	20,5	15,5	0,76	2,57	6,64
Cacao A2	86,7	1554	-15%	21,8	22,6	0,84	2,94	6,84
écart type	94	-	-	3,2	9	0,17	0,6	1,9
MPS A1	1212	1351	+61%	26,3	17,2	1,28	2,45	10,1
MPS A2	745	831	-2%	27,2	19,4	1,31	2,28	10,5
écart type	693	-	-	7,0	12,2	0,2	1,9	1,3
MaripaA1	1258	1579	+51%	20,9	12,7	0,73	2,47	7,53
MaripaA2	813	1021	-3%	-	-	-	-	-
écart type	727	-	-	2,3	3,4	0,10	0,30	1,15

#### 4) Analyse des séries temporelles en regard du débit :

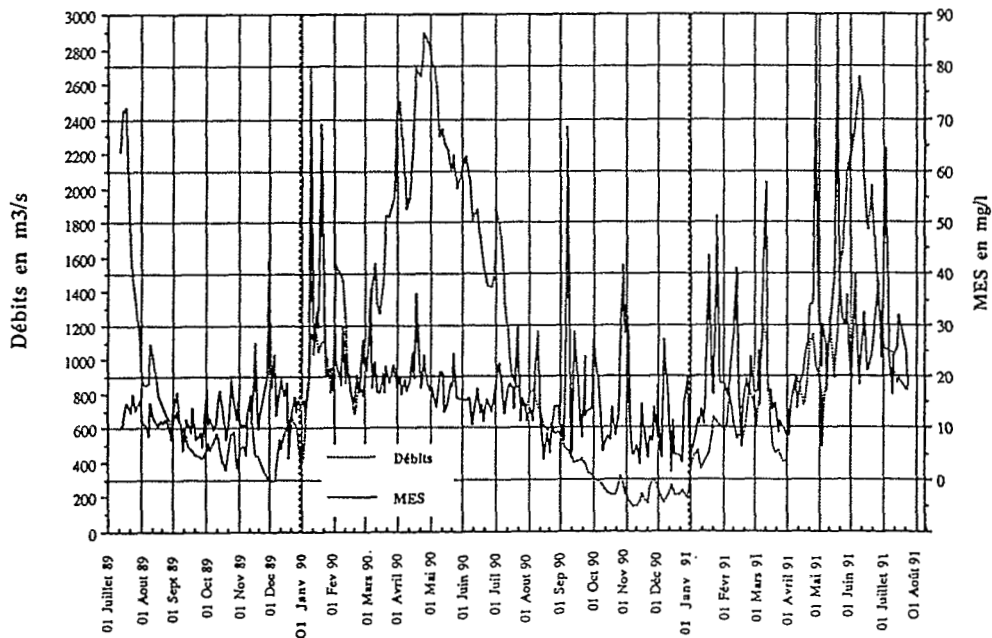
Une présentation temporelle des résultats bruts en regard d'un paramètre important comme le débit, permet d'apprécier les relations éventuelles avec celui-ci et les déphasages qui pourraient se présenter.

- Les MES (Fig. 7) : leurs valeurs sont comprises entre 4 et 90  $mg.l^{-1}$ , avec une médiane à 16  $mg.l^{-1}$ . L'examen de ces courbes met en évidence une amplitude des événements beaucoup élevée pendant la saison sèche, en relation avec chaque petite crue. C'est au début de la saison des pluies que l'on rencontre les maxima, tandis que pendant la saison des pluies, il existe quelques événements dont l'amplitude décroît fortement avec l'avancement de la saison. Aucune relation ne peut être observée avec le débit.
- Ce constat nous a conduit à mettre en relation graphique ces deux paramètres, entre février et juin 1990 (Fig. 8) qui fait ressortir un schéma "d'hystérésis imbriquées", déjà observé entre ces deux variables (Humbel, 1988) : une augmentation des MES avec le débit, lors des débuts de crues, pendant la montée des eaux de la saison des pluies. Ensuite, une baisse globale des MES pendant la décrue générale de la saison des pluies.
- La silice (Fig. 9) : les valeurs sont comprises entre 2 et 10,5  $mg.l^{-1}$  à Cacao et 6,8 et 13,3  $mg.l^{-1}$  à Maripasoula. La médiane à Cacao est de 6,6  $mg.l^{-1}$  et de 10,4  $mg.l^{-1}$  à Maripasoula. Une très bonne corrélation négative, synchrone avec le débit est observée.
- Le pH (Fig. 10) : le pH est compris entre 5,7 et 7,8. A la station de Cacao, il apparaît une corrélation négative marquée avec le débit. La baisse du pH se produit en synchronisme avec les crues, avec dans certains cas, une augmentation d'une demi-unité avant la crue.
- La Conductivité (Fig. 11) : comprise entre 12 et 40  $\mu S.cm^{-1}$ , la valeur médiane est de 21  $\mu S.cm^{-1}$ . A la station de Cacao, on observe le synchronisme avec les débits, chaque événement traduisant une crue ou une décrue.
- Le calcium (Fig. 12) : compris entre 0,35 et 1,45  $mg.l^{-1}$ , avec une médiane à 0,76  $mg.l^{-1}$ , le calcium ne présente pas de synchronisme net, ni de déphasage systématique avec les débits. On observera simplement une "tendance" de relation négative avec le débit.
- Les chlorures (Fig. 13) : compris entre 1,6 et 8,4  $mg.l^{-1}$ , avec une médiane à 2,8  $mg.l^{-1}$ , les chlorures présentent parfois des événements en relation négative avec la décrue, parfois des événements en relation positive avec la crue. Aucun synchronisme ni déphasage systématique n'est à noter.

[a]



[b]



**Figure 7 :**

*Evolution temporelle des contenus en matières en suspension (en noir) en regard des débits journaliers (pointillés), pour les stations de Cacao et de Maripasoula. L'examen de ces courbes met en évidence une amplitude des événements beaucoup élevée pendant la saison sèche, en relation avec chaque petite crue. Pendant la saison des pluies, il existe quelques événements dont l'amplitude décroît fortement avec l'avancement de la saison.*

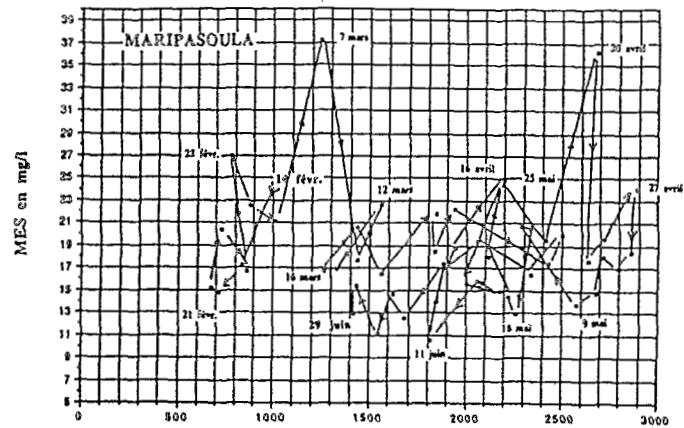
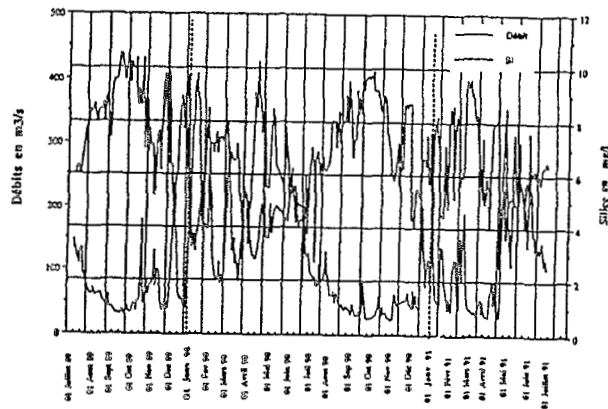


Figure 8 :

Evolution de la relation entre les débits et les MES, pendant la saison des pluies de 1990, à Maripasoula. Établi entre le 14 février et le 29 juin, on retrouve deux pics des valeurs de MES des 7 mars et 20 avril de la figure précédente. On remarque la baisse des valeurs de MES, après le maximum de l'hydrogramme (27 avril), et l'absence de fortes valeurs pendant la décrue.

[a]



[b]

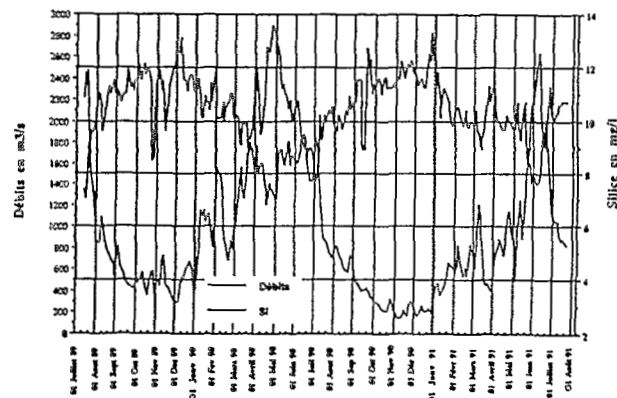


Figure 9

Évolution temporelle des teneurs en silice (en noir) en regard des débits journaliers (pointillés), pour les stations de Cacao et de Maripasoula. On remarque la forte corrélation négative et le synchronisme avec l'évolution des débits. Les deux bassins se distinguent par la valeur moyenne de silice supérieure à Maripasoula ( $10,2 \text{ mg.l}^{-1}$ ), à celle de Cacao ( $6,7 \text{ mg.l}^{-1}$ ).

Grands Bassins Fluviaux, Paris, 22-24 novembre 1993

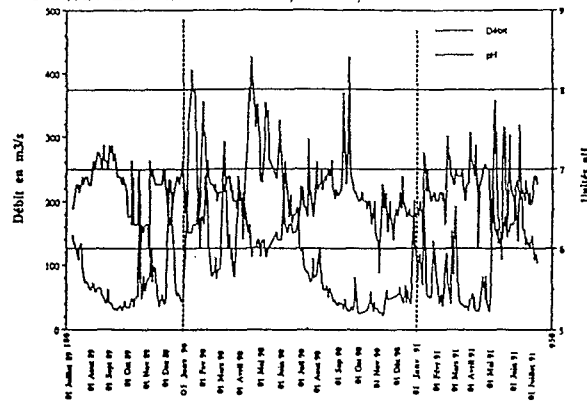


Figure 10 :

Évolution temporelle du pH (en noir) en regard des débits journaliers (pointillés), pour la station de Cacao. D'une façon générale, le pH est acide, se maintenant en dessous de 7. Il apparaît une corrélation négative. La baisse du pH se produit en synchronisme avec les crues, avec dans certains cas, une augmentation d'une demi-unité avant la crue.

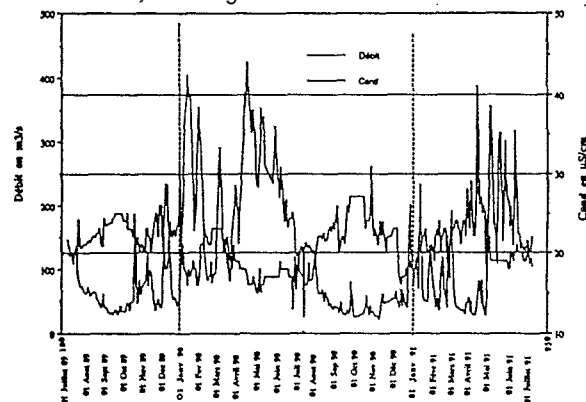


Figure 11 :

Évolution temporelle de la conductivité (en noir) en regard des débits journaliers (pointillés), pour la station de Cacao. La conductivité est en synchronisme parfait avec les débits. Chaque événement traduit une crue ou une décrue.

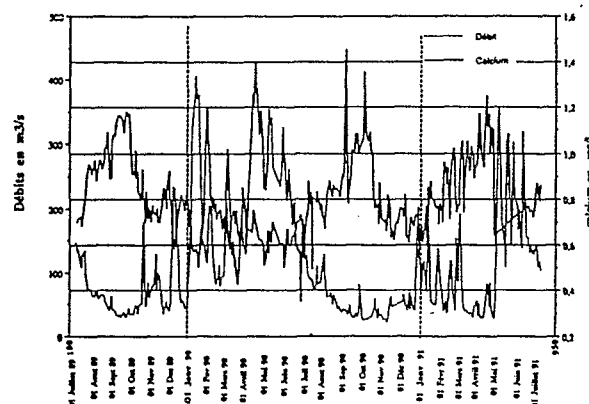
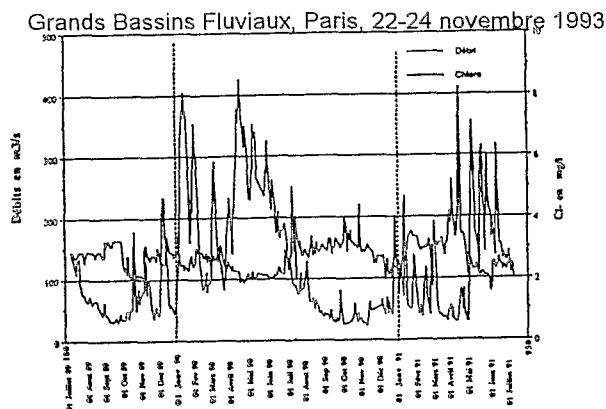


Figure 12 :

Évolution temporelle du calcium (en noir) en regard des débits journaliers (pointillés), pour la station de Cacao. Une corrélation négative avec les débits s'observe grossièrement pour le calcium. Évoluant entre 0,35 et 1,45 mg/l, les valeurs du calcium ne présentent pas de synchronisme net, ni de déphasage systématique avec les débits.



**Figure 13 :**

*Évolution temporelle des chlorures (en noir) en regard des débits journaliers (pointillés), pour la station de Cacao. Compris entre 1,6 et 8,4 mg.l<sup>-1</sup>, les chlorures présentent parfois des événements en relation négative avec la décrue, parfois des événements en relation positive avec la crue. Aucun synchronisme ni déphasage systématique n'est à noter.*

### 5) Recherche de relations statistiques entre paramètres

Plusieurs analyses en composante principale ont été réalisées afin d'apprécier les corrélations existantes, entre les paramètres mesurés. Le tableau 4 présente les valeurs des coefficients de corrélation obtenus.

Certaines corrélations, comme débit/silice et débit/chlorures, ont été décrites par C. Grimaldi (1988) sur de petits bassins versant (1,5 hec.) de Guyane (Ecerex).

Sur les trois bassins étudiés, il existe une forte corrélation négative entre les débits et la silice, déjà suggérée par les diagrammes temporels. Par contre, la relation débit /chlorures n'est pas retrouvée. On constate également une bonne corrélation négative entre le débit et le calcium sur le bassin de l'Oyapok.

On vérifie l'existence de résultats attendus comme la relation positive forte entre conductivité/calcium, et conductivité/chlorures sur le bassin de la Comté.

Enfin, pour les bassins de la Comté et de l'Oyapok, on constate une corrélation positive entre le calcium et la silice.

Ces corrélations, présentées sous forme graphique pour les trois stations (Fig. 14 et 15), permettent d'apprécier la qualité de ces relations, de tendance logarithmique ou linéaire. Dans chaque cas, plusieurs formes de courbes ont été testées, pour obtenir le meilleur coefficient de corrélation  $r^2$ .

### 6) Calcul des flux mensuels et annuels :

Ce calcul est effectué à partir des données journalières, pour la période de mesure et pour les deux bassins de la Lawa à Maripasoula et la Comté à Saut Bief. Nous écarterons Maripa sur l'Oyapok pour la discontinuité des données et leur nombre insuffisant, permettant seulement un calcul mensuel et annuel, pour la première année de mesures.

Pour le bassin de la Lawa et de la Comté, les flux ont été estimés en calculant les intervalles de temps séparant chaque prélèvement à la résolution horaire, puis en leur attribuant une moyenne des débits et des concentrations encadrant l'intervalle (tab. 5, 6 et 7).

Sur le petit bassin de la Comté à Cacao, une analyse des flux ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ , silice, MES), traduits en pourcentages cumulés sur un cycle hydrologique (d'octobre 1989 à septembre 1990), montre que 45% du flux mesuré est obtenu d'octobre à mars (six mois), 45% durant la saison des pluies d'avril à juillet (4 mois) et 10% pour août et septembre. La courbe des pourcentages des flux cumulés de MES se situe en dessous des autres courbes ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ , silice), d'environ 5%, pendant les six premiers mois du cycle, ce décalage s'atténuant par la suite.

Le comportement du bassin de la Lawa à Maripasoula est différent : 40% du flux est obtenu d'octobre à mars (six mois), 55% durant la saison des pluies d'avril à juillet (4 mois) et 5% pour août et septembre. La courbe des pourcentages des flux cumulés de MES se situe au dessus des

autres courbes ( $\text{Ca}^{++}$ , Cl<sup>-</sup>, silice), d'environ 5% pendant les six premiers mois du cycle, puis 10% pendant la saison des pluies, jusqu'en juillet.

**Tableau 4 :**

Coefficients de corrélation obtenus par analyse en composantes principales. Effectuée pour chaque bassin versant, cette analyse statistique permet la recherche systématique des corrélations entre paramètres. Sur le petit bassin de la Comté, on vérifie l'existence de résultats attendus, comme la dépendance directe entre le calcium et les chlorures, avec la conductivité, et la dépendance inverse de la silice avec le débit qui s'observe sur les trois bassins. Par contre, on remarquera l'absence d'autres relations nettes sur le bassin de Maripasoula. Enfin, sur l'Oyapok et la Comté, on remarquera la relation positive entre le calcium et la silice.

**CACAO - COMTE -**

317 ECHANTILLONS (coefficient multiplié par 1000)

	Débit	pH	Cond.	MeS	Fe	Ca	Cl	Si
Débit	1000							
pH	-482	1000						
Cond.	-605	419	1000					
MeS	-70	67	-35	1000				
Fe	170	-179	-114	-29	1000			
Ca	-602	552	768	-97	-103	1000		
Cl	-432	421	722	172	-126	581	1000	
Si	-650	470	706	291	-170	736	326	1000

**MARIPASOULA - LAWA -**

304 ECHANTILLONS

	Débit	pH	Cond.	MeS	Fe	Ca	Cl	Si
Débit	1000							
pH	-385	1000						
Cond.	-136	260	1000					
MeS	202	7	102	1000				
Fe	218	11	-125	121	1000			
Ca	-96	135	246	66	-24	1000		
Cl	-62	236	543	31	-181	145	1000	
Si	-850	430	276	-209	-249	93	77	1000

**MARIPA - OYAPOCK -**

74 ECHANTILLONS

	Débit	pH	Cond.	MeS	Fe	Ca	Cl	Si
Débit	1000							
pH	-426	1000						
Cond.	-552	425	1000					
MeS	273	29	-1	1000				
Fe	127	-133	-62	154	1000			
Ca	-645	-71	310	-326	-179	1000		
Cl	-169	-63	416	-36	-198	380	1000	
Si	-855	383	535	-393	-108	702	114	1000

## V DISCUSSION

L'estimation des flux dissous et en suspension se fait à partir d'un prélèvement unique de surface, au milieu de la section, dont on ne connaît pas la représentativité réelle, par rapport à l'ensemble de la section de mesure. En regard de ces problèmes de méthode, l'approche choisie nous a permis de privilégier l'approche temporelle, dans deux cas très contrastés d'hydraulicité. Ainsi, les fluctuations saisonnières des paramètres chimiques sont nettement observables sur les diagrammes temporels. Sur tous les bassins, certains paramètres mesurés comme le pH et la silice, diminuent avec l'augmentation du débit. La silice présente une remarquable corrélation négative à l'échelle du cycle hydrologique annuel. Par ailleurs, sur le petit bassin de la Comté, on observe un phénomène similaire pour le calcium.

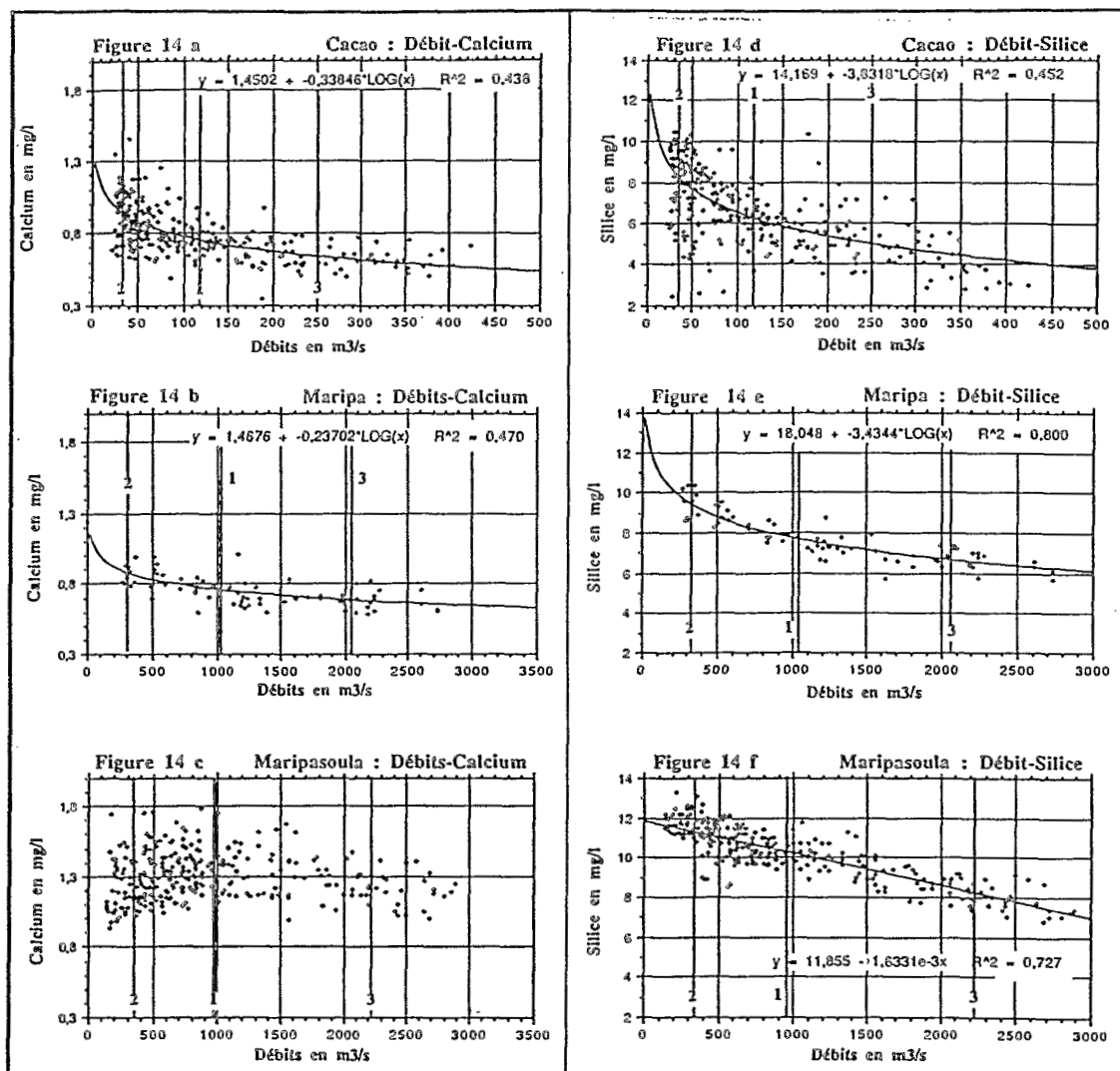


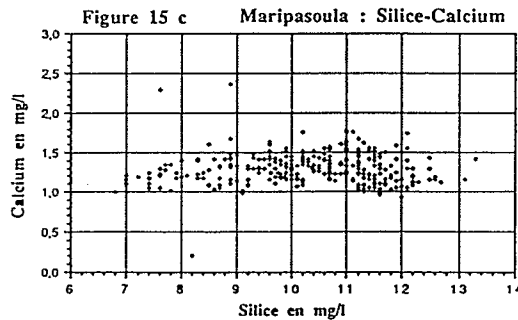
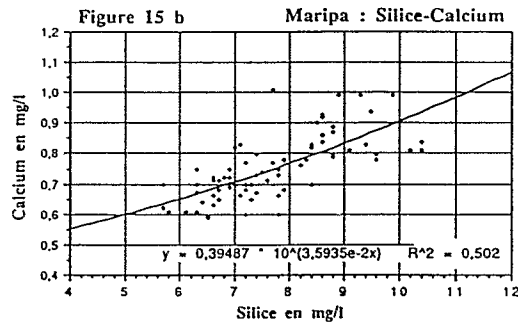
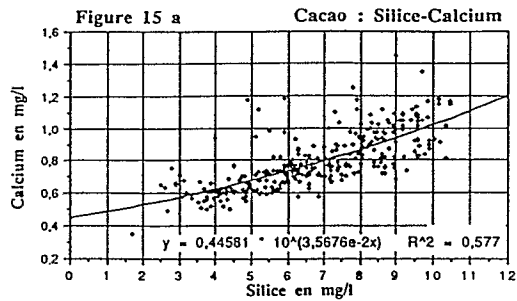
Figure 14

Relations calculées entre les débits et le calcium (a, b, c), les débits et la silice (d, e, f), pour les bassins de la Comté (Cacao), de l'Oyapok (Maripa), et de la Lawa (Maripasoula). Aussi reportés : le débit moyen sur la période de mesure (1), le débit moyen des deux mois les plus faibles (2), correspondant à l'étiage, et des plus élevés (3) correspondant à la période des crues.

Une loi logarithmique peut être définie pour les stations de Cacao et Maripa, avec des coefficients de corrélation  $r^2$  acceptables. A la station de Maripasoula, par contre, il est défini une relation débit-silice qui est linéaire, tandis qu'il n'apparaît pas de relation entre le débit et le calcium.

## 1) Matières particulaires

L'analyse des moyennes annuelles (tableau 3) en regard de cette hydraulicité différente, fait ressortir que seules les MES mesurées sur le petit bassin de Cacao, présentent une baisse de l'ordre de 30% la première année à fort débit. De même, on constate ce phénomène sur les flux nets annuels (tableau 7), qui augmentent peu la première année. Enfin, les flux spécifiques traduisent une dépendance avec la surface du bassin versant, puisque les valeurs sont presque le double sur le petit bassin de Cacao (1760 km<sup>2</sup>), de ceux de Maripasoula (28285 km<sup>2</sup>), quelque soit l'année.



**Figure 15 :**

*Relations calculées entre la silice et le calcium, pour les bassins de la Comté (Cacao), de l'Oyapok (Maripa), et de la Lawa (Maripasoula). Une loi exponentielle peut être définie pour les stations de Cacao et Maripa, avec des coefficients de corrélation  $r^2$  satisfaisants. Il n'apparaît pas de relation à la station de Maripasoula.*

On doit noter aussi la relation particulière des MES avec le débit, comme le phénomène d'"hystérésis" observé sur la plupart des bassins, à l'échelle de la crue annuelle (fig 8) et du cycle hydrologique par d'autres auteurs (Meybeck, 1984 ; Olivry et al., 1988). Les relations des MES avec le débit, montrent que les mécanismes de transport de ces éléments sont complexes et présentent probablement une superposition de plusieurs phénomènes :

- -d'ordre temporels, et qui peuvent être déphasés de quelques jours : érosion des berges lors des montées de crues, emportant les matériaux dans le fleuve, puis dilution de ceux-ci par les forts débits qui s'en suivent.
- -d'ordre pédologique, sur la part des composantes du ruissellement superficiel, prépondérant selon Probst (1992), et du ruissellement retardé. Si le rapport entre ces deux composantes est différent l'année à forte hydraulicité, au profit du ruissellement de surface, on expliquerait ainsi la baisse des teneurs moyennes observées sur le bassin de Cacao.
- -d'ordre spatial, par une aire de "production" non uniforme sur le bassin. Certains auteurs (Loughran, 1986; Lambert, 1986), proposent l'hypothèse d'une hétérogénéité des terrains traversés, plus érodables en bordure de bassin qu'en aval. Ceci pourrait expliquer les fortes

valeurs de flux spécifique du petit bassin de Cacao, pour lequel l'aire géographique de la tête de bassin représente une surface relative plus importante que pour les deux autres.

Tableau 5

Flux spécifiques mensuels de la Comté à Cacao (en t.km-2.an-1). L'analyse de ces valeurs, traduites en pourcentage cumulés, sur un cycle hydrologique (d'octobre 1989 à septembre 1990), montre que 45 % du flux est obtenu d'octobre à mars (six mois), 45 % durant la saison des pluies d'avril à juillet (4 mois) et 10% pour août et septembre. La courbe des pourcentages des flux cumulés de MES se situe en dessous des autres courbes (Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, silice), d'environ 5%, pendant les six premiers mois du cycle, ce décalage s'atténuant par la suite.

	flux sp. MES	flux sp. Ca <sup>++</sup>	flux sp. Cl <sup>-</sup>	flux sp. silice
unités	t.km-2an-1	t.km-2an-1	t.km-2an-1	t.km-2an-1
Aout 89	12,41	1,06	3,13	9,35
sept	5,78	0,75	2,15	6,54
octobre	12,95	0,86	2,45	9,08
novem	24,39	0,93	3,09	8,75
décembre	31,55	1,27	4,86	11,33
janvier 90	60,12	2,60	10,77	17,99
fev	43,12	1,97	7,80	17,22
mars	50,28	1,93	7,55	18,48
avril	91,77	3,53	11,46	20,88
mai	62,75	2,92	9,96	20,61
juin	70,81	2,39	8,46	19,64
juillet	47,16	1,39	6,02	11,02
Aout	31,78	1,00	3,70	9,03
sept	10,14	0,66	2,11	5,69
octobre	9,15	0,66	2,14	6,18
novem	13,68	0,47	1,99	4,59
décembre	13,89	0,55	1,90	5,06
janvier 91	41,70	1,38	5,41	12,59
fev	38,17	1,18	4,48	9,34
mars	38,85	1,12	3,80	9,67
avril	24,61	0,92	3,74	5,79
mai	100,04	--	7,87	16,50
juin	73,71	--	7,79	19,75

## 2) matières dissoutes

L'analyse des moyennes annuelles (tab. 3) ne met pas en évidence de relation nette avec l'hydraulicité, les concentrations étant relativement proches les deux années, pour chaque bassin. Le bassin de Maripasoula s'individualise avec des moyennes annuelles de la conductivité, de la silice et du calcium, supérieures de 30% aux deux autres bassins. Les concentrations en chlorures sont presque identiques sur les trois bassins.

-le calcium : la relation des concentrations avec le débit (fig. 14 a, b, c) n'est pas de très bonne qualité, et même absente sur la bassin de Maripasoula. Ce type de distribution, déjà observée par Turvey (1975), sur des bassins forestiers tropicaux, montre une dispersion notable aux débits d'étiages, et une décroissance des concentrations à peine marquée aux débits élevés.

De même, les flux spécifiques annuels et mensuels de calcium (tab. 5, 6, 7), comparés aux débits spécifiques (q), nous indiquent que Ca est presque indépendant de q. Ceci confirmerait, comme l'indique Borman (1969), que le calcium aurait une origine double : altération de la roche mère et biochimique (Grimaldi, 1988). Ca a un recyclage rapide par la végétation, et est exporté par les eaux de surface. Il ne subsiste qu'en faible concentration dans les eaux de nappe. L'interprétation peut se faire en termes de contribution des composantes phréatiques et superficielles : en étiage, on observerait la contribution phréatique à laquelle s'ajouterait la composante superficielle lors des épisodes pluvieux, soutenant ainsi la concentration et évitant un effet de dilution important.

-les chlorures : les flux spécifiques annuels et mensuels de chlorures montrent par contre, une bonne relation linéaire avec le débit spécifique. Ceci traduit d'une autre façon, le fait que les moyennes annuelles de chlorures ont des valeurs très voisines quel que soit le bassin versant.

Sachant qu'il n'y a pas d'évaporites sur ces bassins, et comme l'ont évoqué certains auteurs (Meybeck, 1984; Grimaldi, 1988), ce flux constant traduirait un apport univoque, océanique, véhiculé par les pluies. En effet, l'ion chlorure a un temps de résidence court, il se produit peu d'échanges avec la canopée lors de son transit vers le sol, et l'effet de continentalité est parmi les plus faibles (10µeq/l pour 500 km) dans cette région Amazonienne (Meybeck, 1984). A partir de toutes les valeurs mensuelles des couples débits spécifiques/flux (fig. 16), on déduit la relation générale suivante :

$$\text{Flux sp. Cl}^- = 0,066 \times q + 0,57 \quad r^2=0,940 \quad (58 \text{ points})$$

(flux en t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup> et "q" en l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>) qui serait l'expression de ce flux constant.

Tableau 6 :

Flux spécifiques mensuels de la Lawa à Maripasoula (t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>). L'analyse de ces valeurs, traduites en pourcentage cumulés, sur un cycle hydrologique complet (d'octobre 1989 à septembre 1990), montre que 40 % du flux est obtenu d'octobre à mars (six mois), 55 % durant la saison des pluies d'avril à juillet (4 mois) et 5% pour août et septembre. La courbe des pourcentages des flux cumulés de MES se situe au dessus des autres courbes (Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, silice), d'environ 5% pendant les six premiers mois du cycle, puis 10% pendant la saison des pluies, jusqu'en juillet.

unité	flux sp. MES	flux sp. Ca <sup>++</sup>	flux sp. cl <sup>-</sup>	flux sp. silice
	t..km-2an-1	t..km-2an-1	t..km-2an-1	t..km-2an-1
Juillet 89	27,3	2,85	5,55	18,9
Aout	10,0	1,40	2,15	9,4
sept	6,2	0,95	1,51	6,8
octobre	7,1	0,70	1,47	6,0
novem	7,6	0,56	1,22	5,7
décembre	8,8	0,62	1,26	6,3
janvier 90	33,3	1,31	2,72	11,7
fev	28,0	1,61	3,83	13,8
mars	33,6	1,77	3,69	15,0
avril	57,8	2,95	5,44	21,6
mai	41,0	3,02	5,52	20,0
juin	30,9	2,82	5,59	19,0
juillet	22,7	1,82	3,17	11,8
Aout	8,8	1,10	1,81	8,0
sept	7,9	0,58	1,10	5,0
octobre	5,1	0,42	0,72	3,3
novem	2,1	0,26	0,59	2,6
décembre	2,0	0,29	0,37	2,9
janvier 91	10,2	0,64	1,24	5,2
fev	15,4	0,97	2,34	7,8
mars	18,4	1,03	1,60	7,4
avril	27,0	1,23	1,93	9,4
mai	54,4	2,01	3,35	13,8
juin	56,8	2,91	4,48	18,3
juillet 91	34,2	1,54	2,64	11,8

-la silice : la relation débits/concentration (fig. 14 d, e, f) présente une meilleure relation que pour le cas du calcium. Les pentes correspondent à 20 à 30% de diminution des concentrations, pour des débits multipliés par trois. Les flux spécifiques sont peu dépendants de la surface du bassin (tab. 7).

La silice est issue de l'altération du substratum, ce qui fait appel à différents processus au niveau de la litière, et dans la rivière, avec la production primaire. L'effet de cette dernière n'a été observée en Guyane que sur de petits bassins, lors d'écoulements d'étiage très faibles (Grimaldi et al., 1993), à l'occasion d'un bloom consommateur de silice. Edwards (1973) souligne par ailleurs, la faible dilution de Si par rapport aux fortes variations de débits, dans l'hypothèse où la silice proviendrait exclusivement de la composante phréatique. Il suggère l'intervention de processus biologiques, jouant un rôle de "tampon" dans les eaux, pour maintenir la concentration autour de sa valeur moyenne. Par ailleurs, la corrélation négative par rapport aux débits, décrite dans les diagrammes temporels (fig 9), tendrait à prouver que la composante du ruissellement est

prépondérante et que cet élément est mobilisé par les eaux de crues superficielles (Grimaldi, 1988).

Tableau 7

Flux nets annuels et flux spécifiques, calculés pour chaque station, à partir des données hebdomadaires, du 15 juillet 89 au 15 juillet 90 (A1), et du 15 juillet 90 au 15 juillet 91 (A2). On notera l'incidence de la forte hydraulicité de la première année de mesures (A1), pour laquelle les flux nets de MES augmentent de 20%, et de plus de 50% pour la silice le calcium et les chlorures. Les flux spécifiques nous indiquent que la silice et le calcium sont moins dépendants de la surface du bassin, alors que MES et chlorures ont presque doublé, sur le petit bassin de Cacao.

		Flux nets (en tonnes par an)					
		Surface (km <sup>2</sup> )	Volumes (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	MES en tonnes	Ca <sup>++</sup> en tonnes	Cl <sup>-</sup> en tonnes	silice en tonnes
Cacao	Année 1	176	476	76 300	3 200	11 600	25 700
	Année 2	176	273	64 560	1 670	7 440	17 150
Maripasoula	Année 1	2828	3822	694 000	48 100	92 100	359 000
	Année 2	2828	2349	562 000	30 600	59 600	224 000
Maripa	Année 1	2512	3967	504 000	29 000	98 000	300 000

		Flux spécifiques (en tonnes par km <sup>2</sup> et par an)					
		Débits spécifique*	MES t.km <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>	Ca <sup>++</sup> t.km <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> t.km <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>	silice t.km <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>	
Cacao	Année 1	85,8	43,4	1,82	6,6	14,6	
	Année 2	49,3	36,7	0,95	4,23	9,74	
Maripasoula	Année 1	42,8	24,5	1,70	3,26	12,7	
	Année 2	26,3	19,9	1,08	2,1	7,92	
Maripa	Année 1	50,1	20,1	1,15	3,90	11,9	

\*en litres par seconde et par km<sup>2</sup>

Enfin, la relation (positive) entre la silice et le calcium (fig 15), pour la Comté et l'Oyapok, indiquerait que leur comportement vis à vis des processus de mobilisation sont de même nature, synchrones, avec les débits de nappe pendant l'étiage, et avec la composante de ruissellement pendant les crues. On remarquera aussi que l'absence de relation silice/calcium à Maripasoula (fig 15c) peut s'expliquer par l'absence de relation débit/calcium (fig 14c).

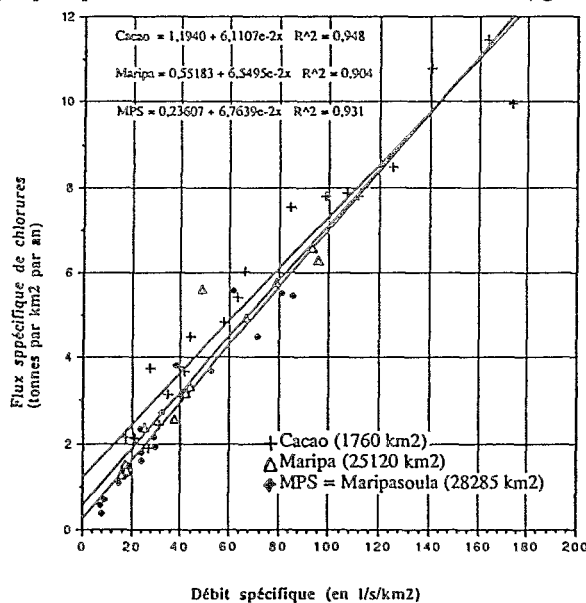


Figure 16 :

Flux spécifiques mensuels de chlorures en fonction du débit spécifique. Pour cet élément, on constate une bonne relation linéaire, qui traduit la similitude des valeurs absolues des concentrations moyennes, sur les trois bassins. Ce flux, interprété comme ayant une origine univoque (les précipitations) permet de calculer une relation générale par rapport aux débits spécifiques des bassins.

## VI - CONCLUSION

Les mesures systématiques pratiquées sur les trois rivières de Guyane, à un rythme pluri-journalier, nous ont permis de comparer les variations de contenus en matières en suspension et les variations de concentrations en calcium, chlorures et silice dissoute, selon deux critères : l'hydraulicité et le facteur d'échelle (surface du bassin).

- ◊ -pour les MES, nous avons observé qu' une forte hydraulicité est un facteur minorant, et que les valeurs sont inversement proportionnelles à la surface du bassin.
- ◊ -pour les éléments dissous cités, l'hydraulicité est sans effet particulier, et il n'y a pas d'incidence du facteur d'échelle. Pour les chlorures, les valeurs absolues sont très proches sur les trois bassins et indiquent une origine univoque qui a été attribuée aux pluies. Une relation générale liant les débits spécifiques des bassins aux flux spécifiques de chlorures a été proposée. Pour les autres éléments, chaque bassin a des valeurs spécifiques dont les différences peuvent s'interpréter en fonction de la géologie et des composantes du ruissellement.

Pour chaque élément, nous avons cherché les arguments pouvant apporter des indices sur leur origine et les mécanismes de mobilisation, en relation avec la composante phréatique et la composante de ruissellement. Cette dernière a toujours une importance prépondérante, au vu des faibles dilutions observées.

La comparaison des concentrations quotidiennes (séries temporelles) de silice avec les débits, montre une relation synchrone et inverse, remarquable sur tous les bassins.

Les flux nets mensuels ont pu être calculés grâce à la bonne connaissance des débits aux trois stations.

Pour compléter ce bilan, il est utile de donner un ordre de grandeur des quantités de matières en suspension exportées en année moyenne, à l'embouchure du bassin du Maroni - 1,3 million de t/an - et 0,45 million de t/an pour le bassin de l'Oyapok, soit un ordre de grandeur de 2,5 million de tonnes en année moyenne pour tout le Département de la Guyane.

L'étude physico-chimique de bassins tropicaux sous forêt primaire non perturbée rencontre des obstacles importants par rapport à une bonne connaissance générale du terrain (morphologie, couverture pédologique, géologie des bassins versants dans leur ensemble), indispensable lors de l'interprétation des mesures. A l'inverse, cette inaccessibilité devrait être motivante pour améliorer les protocoles expérimentaux, augmenter le nombre d'éléments mesurés, et, s'appuyant sur les études de petits bassins naturels accessibles, devenir un outil de la connaissance et de la surveillance de ces grands bassins tropicaux.

**Remerciements :** Gendarmeries de Cacao et Maripasoula qui, grâce à leur sérieux et leur grande régularité, auront permis ce travail.

## BIBLIOGRAPHIE

- Borman, F.H., Likens, G.E., Eaton, J.S. (1969) - Biotic regulation of particulate and solution losses from a forested ecosystem. *Bioscience* 19, p. 600-610.
- Dubreuil, P., Roche, M.A. & Hoepffner M. (1974) Dynamique des eaux, des sels et des sédiments en suspension dans les estuaires du Mahury et de l'Approuague. Cayenne, Orstom. 64p.
- Choubert, B., (1978) Atlas des DOM - La Guyane, Planche 4. Ceget/Cnrs-Orstom. n° ISBN 2-222-02501-X.
- Eisma, D. & Van der Marel, H.W.,(1971) Marine muds along the Guiana Coast and their origin from the Amazon Basin. *Contrib. to Minerl. Petrol.* 31 : 321-334.
- Edwards A. M. C. (1973) - Evidence for buffering of dissolved Silicon in fresh water. *Nature*, 243, p.341
- Grimaldi, C. (1988) Origine de la composition chimique des eaux superficielles en milieu tropical humide : exemple de deux petits bassins sous forêt en Guyane. *Sci.Géol., Bull., Strasbourg*, 41, 3-4, 247-262.

- Grimaldi, C. Sarrazin, M. (1993) - Composition chimique des eaux des rivières Karouabo et Passoura. Rapport Orstom/Cnes, n° 89/2621. mult. 60 p.
- Fritsch, J.M. (1984) Les transports solides - Etude d'impact de l'aménagement du barrage de Petit Saut. Multi. Cayenne, Orstom 32p.
- Fritsch, J.M. & Sarrailh, J.M. 1986 - Les transports solides dans l'écosystème forestier tropical humide Guyanais. Cahier Orstom. Série Pédologie, vol. XXII n°2, 209-222.
- Fritsch, J.M. (1990) Les effets du défrichement de la forêt Amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants. Opération ECEREX en Guyane française. Thèse de doctorat d'état - Université de Montpellier II.
- Humbel, H.X. (1988) Transport de matières en suspension et de carbone organique particulaire par la Garonne. Mémoire de DEA. Univ. Louis Pasteur de Strasbourg.
- Humbel, H.X. (1989) Qualité et dynamique des eaux fluviales de Guyane mémoire Orstom, Cayenne, Guyane 47p.
- Jouanneau, J.M. & Pujos, M. (1986) Variations annuelles des concentrations en matières en suspension et estimation des débits solides des fleuves Maroni et Mahury. I.G.B.A. Bordeaux.
- Lambert, C.P. & Walling, D.E., (1986) Suspended sediment storage in river channels : a case study of the river Exe, Devon, UK. Drainage basin sediment delivery. I.A.H.S. publ., 159, 263-297.
- Lointier, M. (1984) Dynamique des eaux et de l'intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary (Guyane Fr.) Orstom. Cayenne.vol I 62p.
- Lointier, M. (1984-1988) Annuaire hydrologique de la Guyane-Orstom-ISSN 0988-4909.
- Lointier, M. & Prost, M.T., (1988) Coastal sedimentation and local rivers supply in French Guiana: comparisons with the Amazon. Abstracts of the Chapman Conference on the fate of particulate and dissolved components within the Amazon Dispersal System : River and Ocean. Nittrouer & DeMaster Ed. Charleston. Wild Dunes. USA.
- Lointier, M. (1990) Dynamique des eaux et de l'intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary (Guyane Fr.) Orstom. Cayenne.vol II. 73p.
- Lointier, M., Rudant, J.P. Sabatier, D. & Prost, M.T., (1993) Contribution of ERS1 Sar data to hydrologic approach in tropical area : example in French Guiana. Second ERS1 Symposium. Hamburg. ESA Ed.
- Loughran, R.J., Campbell, B.L., Elliot G.L. (1986) Sediment dynamics in a partially cultivated catchment in new South Wales, Australia. Journal of Hydrology. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. 83, 285-297
- Meybeck, M. (1984) - Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse d'état. Univ. P et M. Curie. Ecole Normale Sup. Laboratoire de géologie. Paris.
- NEDECO, (1968) Surinam transportation study. Report on hydraulic investigation. La Haye. Pays-Bas. 239 p.
- Olivry, J.C., Bricquet, J.P., Mahé, G. (1988) - Transport des matières sur les grands fleuves des régions intertropicales. Les premiers résultats des flux particuliers sur le bassin du fleuve Congo. In "Sediments budgets", Symp. de Porto Alegre, IAHS, n° 174, p. 509-521.
- Probst, J.L. (1992) Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mémoire n° 94 des Sciences Géologiques. ISSN 00302-2684. Univ. L. Pasteur de Strasbourg et CNRS.
- Reuillon, M. (1986) Etudes statistiques des données du réseau hydrométrique de Guyane Française. Rapport de stage ISIM. Univ. de Montpellier II. France. 48p.
- Roche, M.A. (1978) Hydrodynamique et évaluation du risque de pollution d'un estuaire à marée (Guyane Fr.). Cah. Orstom, série hydrologie, vol.XIV,n°24, p.345-382.
- Turvey, N.D., (1975) - Water quality in a tropical rain forested catchment. Journal of Hydrology, 27, 111-125.