

Variations spatio-temporelles des matières en suspension dans l'estuaire du Sinnamary, Guyane française. Influence du barrage hydroélectrique de Petit Saut

(Space-time variations of suspended material in the Sinnamary estuary, French Guiana. Influence of Petit Saut electric dam)

Carlos J. Maia de Oliveira¹ & Jacques Clavier²

¹M.N.H.N. - Laboratoire de Cryptogamie
(12 rue Buffon 75005 Paris, France)

²Centre IRD de Bretagne & IUEM-UMR 6539
(Place N. Copernic, 29280 Plouzané)

-
- **Abstract:** The coast of French Guiana is subjected to the Amazon dispersal system, which is influenced by oceanic currents and trade winds ruled by the position of the Intertropical Convergence Zone. The Sinnamary is one of the major French Guiana rivers. Since 1994, the hydroelectric dam of "Petit Saut" has modified the hydrological regime and the ecological functioning of the estuary. Variations in suspended material (organic and inorganic) concentrations, and parameters such as salinity, temperature, dissolved oxygen and chlorophyll has been followed up from measurement carried out between December 1996 and February 1998 in the estuary. The load varied seasonally and according to the tide. To establish space-time variability, three variation factors (depth, time and tidal variation) have been tested. The effects were significant for salinity, chlorophyll and the total particulate matter load. Suspended material is four times higher near the bottom than in the surface, with a 13 % organic matter percentage. Net total particulate material exportation was estimated to $0,05 \times 10^6 \text{ t.y}^{-1}$ for Sinnamary. Modifications of hydrological parameters related to Petit Saut hydroelectric dam operation mainly affect sediment transport, salinity and oxygen concentration. Significant biological effects are observed in the estuary.
 - **Resumo:** O litoral da Guiana Francesa sofre a influência do sistema de dispersão de sedimentos do rio Amazonas, sob ação dos Alísios, das correntes e da posição da Zona Intertropical de Convergência. A partir de 1994, o rio Sinnamary foi modificado com a construção da barragem hidroelétrica de "Petit Saut". A variação das concentrações de materiais em suspensão (orgânico e inorgânico) e a dos parâmetros tais como salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e clorofila foram estudados entre dezembro 1996 e fevereiro 1998, em seu estuário. Os parâmetros variaram segundo a hora da maré e a estação, permitindo visualizar sua variabilidade espaço-temporal: 3 fatores (níveis, datas e marés) foram testados. Esses efeitos revelaram-se significativos para a salinidade, clorofila e seston. A concentração dos materiais em suspensão (MES) é 4 vezes maior no fundo em relação à superfície, sendo o total constituído de 13 % orgânico. Estima-se a $0,05 \times 10^6 \text{ t.ano}^{-1}$ o total de MES que foram exportados pelo Sinnamary. As modificações dos parâmetros hidrológicos ligadas ao funcionamento da barragem hidroelétrica de Petit Saut afetam o transporte de sedimentos, a salinidade e a concentração do oxigênio. Observou-se significativos efeitos biológicos no seu estuário.
 - **Descriptors:** Estuary, Suspended matter, Salinity, Chlorophyll, Tidal cycle, French Guyana.
 - **Descritores:** Estuário, Material em suspensão, Salinidade, Clorofila, Ciclo de maré, Guiana Francesa.
-

Introduction

La dynamique des matières en suspension dans les estuaires a fait l'objet de nombreux travaux (Odum *et al.*, 1982; Nixon *et al.*, 1984; Woodroffe, 1985; Froidefond *et al.*, 1985, 1987, 1988; Boto & Wellington, 1988; Dessier, 1990; Orange *et al.*, 1993; Allison *et al.*, 1995, 1996; Winter *et al.*, 1996). La turbidité des eaux estuariennes est directement liée à la charge particulaire du fleuve. Elle est également gouvernée par la rencontre des eaux douces et marines qui provoque une floculation de particules colloïdales (Kranck, 1980 *in* Riaux-Gobin, 1987) à l'origine d'un bouchon vaseux où la charge particulaire varie selon diverses échelles de temps. Les fleuves déchargent annuellement 10^9 tonnes de carbone vers l'océan (Meybeck, 1982). La matière organique dissoute ou en suspension, qui contribue pour environ 40% à ce total, est encore peu intégrée dans les bilans d'exportation (Briand *et al.*, 1993).

L'Amazone est le plus grand fleuve du monde. Il déverse annuellement $6,3 \times 10^{12}$ m³ d'eau douce et $1,3 \times 10^9$ t de sédiments dans l'Atlantique (Meade *et al.*, 1985). Sous l'influence des courants océaniques, son action se fait sentir au-delà de la mer des Caraïbes, principalement pendant l'hiver boréal (Prost, 1990). Le courant des Guyanes, qui agit sur une bande de 150 à 200 km de large, entraîne ainsi vers le nord ouest 20 % du total des sédiments amazoniens (Eisma *et al.*, 1991), dont 1 % se dépose sur les côtes de la Guyane.

Les caractéristiques morphologiques des plaines côtières de Guyane traduisent une sédimentation estuarienne et marine, avec progression de la côte et envasement. Le littoral est caractérisé par la présence de vastes bancs de vase de 20 à 40 km de long, qui se déplacent à des vitesses variables (moyenne de 900 m.an⁻¹) sous l'action de l'hydrodynamisme, du sud-est vers le nord-ouest. Le long de la côte, les vasières sont progressivement colonisées par une mangrove à forte dynamique. Les bancs sont séparés par des zones d'érosion (zones interbancs) occupées soit par la mangrove en recul, soit par des cheniers (Prost, 1990). Les fleuves de Guyane sont influencés par cette dynamique côtière et le tracé de leur embouchure évolue au gré du déplacement des bancs de vases.

Les berges des estuaires abritent des mangroves bien développées. L'action régulière de la marée dans ces écosystèmes assure une mobilité des sédiments, des détritiques et des nutriments (Woodroffe, 1985). La production annuelle de litière, mesurée pour divers faciès de la mangrove de Guyane, est comprise entre 9,6 et 13,3 t.h.⁻¹ (Betoulle, 1998), alors qu'elle n'est que de 7,8 t.h.⁻¹ pour la forêt sempervirente (Puig & Delobelle, 1988). Sous

l'hypothèse d'un transfert de 10 à 20 % des feuilles mortes vers l'estuaire, l'exportation annuelle de matière allochtone par la mangrove atteint 1 à 3 t.h.⁻¹ (Rojas-Beltran, 1986).

La dynamique des estuaires de Guyane a été relativement peu étudiée (Lescure, 1977; Lointier & Prost*, 1988; Peltier, 1993; Charron *et al.*, 1997). La présente contribution propose une évaluation des quantités de matières en suspension dans l'estuaire du Sinnamary et l'interprétation de leur variabilité spatio-temporelle en regard des paramètres physico-chimiques du milieu et de l'influence de la retenue hydroélectrique de Petit Saut.

Matériel et méthodes

Présentation du site

La Guyane française est située au nord de l'Amérique du Sud entre 2° et 6° de latitude Nord et entre 51° et 54° de longitude ouest; elle est limitée au nord-ouest par le fleuve Maroni, au sud-est par l'Oyapock et au nord par l'océan Atlantique (Fig. 1). Les neuf-dixièmes du pays sont colonisés par la forêt équatoriale; le reste constitue le domaine des marais, des savanes et de la mangrove qui occupe 500 km², soit 0,5 % du territoire (Granville, 1986). La façade atlantique s'étend sur 378 km.

Le climat est de type équatorial humide, avec des températures moyennes comprises entre 26 et 28°C; la pluviométrie varie de 2 000 à 4 500 mm.an⁻¹. La Guyane est marquée par une saison des pluies de janvier à juin, interrompue par une courte période sèche de mars à avril, et par une longue saison sèche de juillet à décembre (Fig. 2).

La circulation océanique générale devant la Guyane est dominée par le courant des Guyanes qui prolonge vers le nord-ouest le courant Nord Brésil. Sa vitesse est comprise entre 1 et 2 m.s⁻¹ (Bouysse *et al.* 1977). La circulation fine sur le plateau continental reste mal connue. Cependant, au niveau du fond, les courants semi-rotatifs (en bordure externe du plateau) ou alternatifs (près de la côte) de faible intensité sont opposés aux courants de surface: leur vitesse varie de 10 à 35 cm.s⁻¹ (Castaing & Pujos 1976). Les marées sont du type semi-diurne avec une amplitude comprise entre 1,10 et 2,90 m.

(*) Lointier M. & Prost, M. T. 1988. Coastal sedimentation and local rivers supply in French Guiana: comparisons with Amazon. In: CHAPMAN CONFERENCE ON THE FATE OF PARTICULATE AND DISSOLVED COMPONENTS WITHIN THE AMAZON DISPERSAL SYSTEM RIVER AND OCEAN. Charleston, Wild Dunes, Resort, 1988. Abstracts. Charleston, Wild Dunes, Resort. p.22.

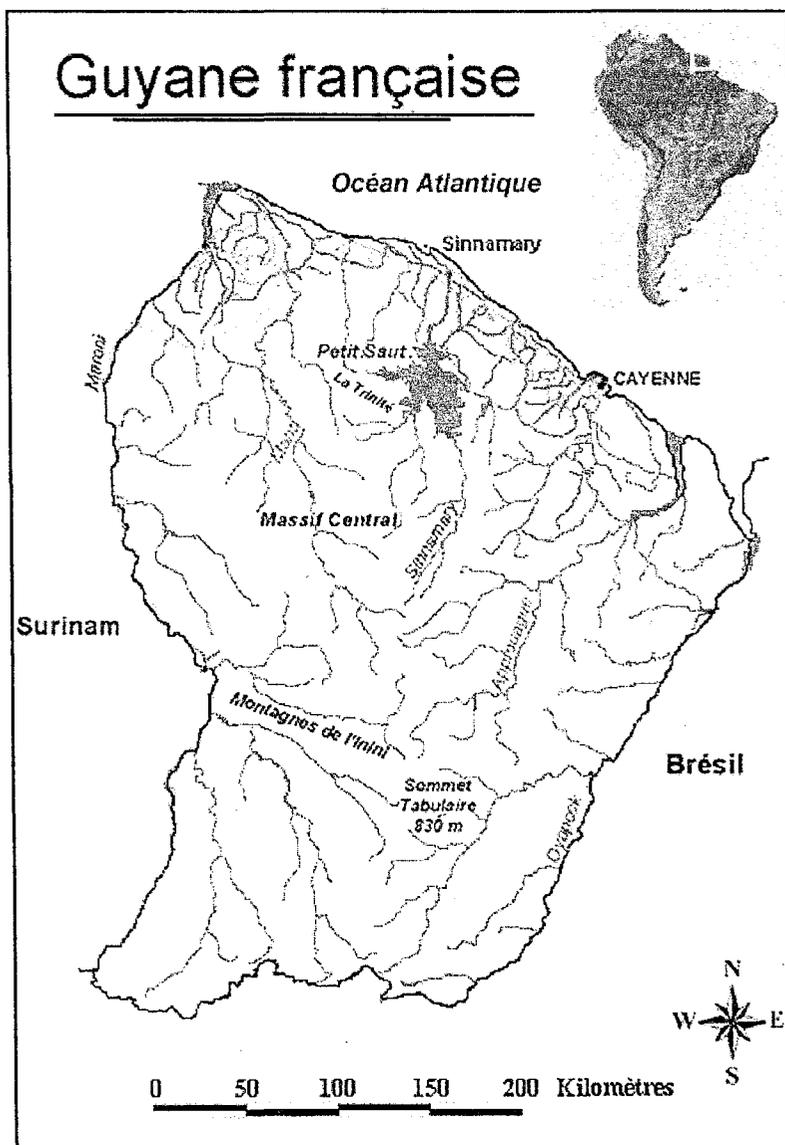


Fig. 1. Présentation générale de la Guyane française.

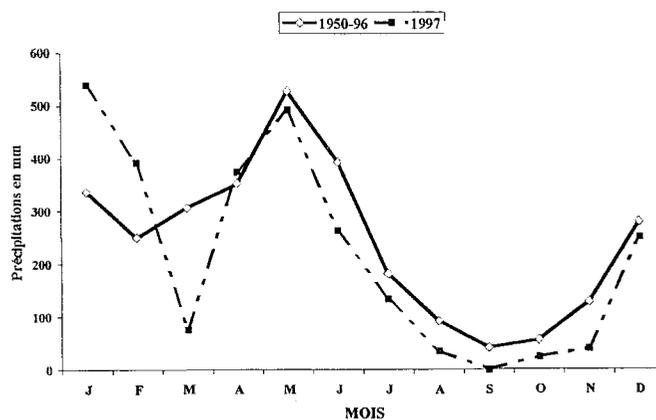


Fig. 2. Comparaison des précipitations moyennes mensuelles de l'année 1997 avec les valeurs moyennes de référence pour la période 1950 à 1996 (source Météo France).

Avec un bassin versant de 6 565 km², le Sinnamary (Fig. 3) est le cinquième fleuve de Guyane. Son estuaire (5°26'23"N-52°59'46"W) témoigne de diverses périodes de progradation et d'érosion. La section moyenne de l'estuaire est de l'ordre de 1 830 m² avec une largeur maximale de 1 100 m. La partie la plus profonde se trouve en rive droite, avec une bathymétrie de 1,8 à 3,2 m. La vitesse du courant à l'estuaire varie entre 0,7 (étiage) et 0,9 (pluie) m.s⁻¹. La vitesse du jusant est toujours supérieure à celles du flot. Le fleuve a été aménagé à une soixantaine de km de son embouchure, en 1989 par un barrage hydroélectrique mis en service en 1995. Son débit moyen sur l'année est ainsi passé de 200 m³.s⁻¹ en 1980 à 290 m³.s⁻¹ actuellement.

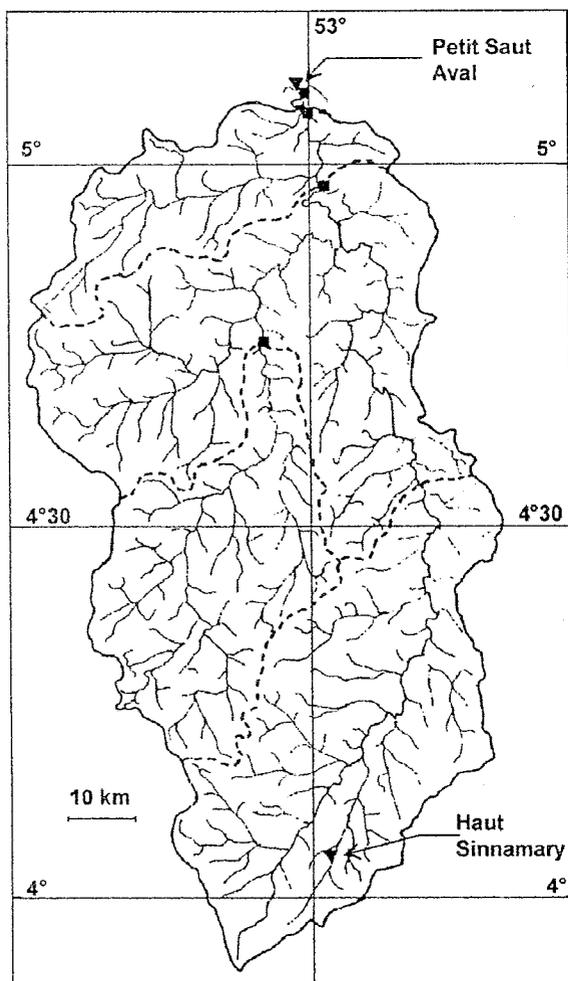


Fig. 3. Le Sinnamary et son bassin versant.

La mangrove pure borde l'estuaire sur cinq kilomètres en amont de l'embouchure. Elle est composée de *Laguncularia racemosa* (L.), *Rhizophora racemosa* (G. Meyer, Leachman) et *Avicennia germinans* (Linnaeus). Au-delà, jusqu'à 12 km dans les terres, elle est mélangée avec des espèces

de la forêt ripicole, telles que *Pterocarpus officinalis* (Jacquin) et *Montrichardia arborescens* (Schoot). On observe, près de l'embouchure, des phases de disparition et de recolonisation liées à la dynamique de l'estuaire sous l'influence des bancs de vases (Lointier, 1990; Charron *et al.*, 1997).

Échantillonnage

Sur les fleuves côtiers de Guyane, les courants sont faibles en période de mortes-eaux; les masses d'eau sont alors stratifiées, ce qui induit un transport faible et un dépôt des matières en suspension. En période de vives-eaux, les courants sont plus forts et favorisent un charriage et une remise en suspension des éléments déposés dans les estuaires (Frouin, 1997).

Les échantillons nécessaires à notre étude ont été prélevés en subsurface et à 1 m du fond toutes les 2 h pendant un cycle de marée de vives-eaux, sur une radiale localisée à 1 km de l'embouchure du fleuve. La collecte a été répétée mensuellement de décembre 96 à février 98.

La salinité et la température ont été relevées grâce à un thermosalinomètre YSI333. L'oxygène dissous a été mesuré avec un oxymètre YSI57. La pluviométrie a été obtenue à partir des données de Météo-France (station de Cayenne) et le débit journalier du fleuve Sinnamary a été fourni par la station EDF de Petit Saut.

L'eau nécessaire aux études de seston a été prélevée grâce à une bouteille du type Van Dorn (5 litres). Trois échantillons d'eau de surface et de fond ont été filtrés à l'aide d'unités PFS 500/500 ml munies de pompes à vide manuelles (pompe en PVC 36 ml/ impulsion, 0,84 bar). Les filtres (GF/F Whatman, 0,7 µm, 47mm Ø) avaient préalablement été déshydratés à 105°C puis pesés. Le volume filtré variait entre 50 et 300 ml, selon la charge en sédiments. Au laboratoire, les filtres ont été séchés à 60°C pendant 8 jours, puis pesés pour obtenir la matière particulaire totale (MPT). Ils ont ensuite été calcinés à 500°C durant 2 heures et repesés pour obtenir la matière inorganique particulaire (MIP). Enfin, la masse de matière sèche sans cendre a été calculée par la différence entre MPT et MIP. Nous considérerons que cette masse correspond à celle de la matière organique particulaire (MOP). Les masses ont été corrigées de la perte du filtre au cours de la calcination et de l'augmentation liée à la présence de sel.

La chlorophylle a été mesurée sur des échantillons d'eau prélevés en subsurface, au milieu du fleuve. Le volume filtré a varié de 100 et 300 ml selon la charge particulaire. Après filtration, les filtres (GF/F Whatman; 0,7 µm) ont été conservés au froid et à l'obscurité. Les analyses ont été réalisées dans un délai de 10 jours à l'aide d'un spectrophotomètre

SECOMAN S-1000. Le protocole d'analyse correspond à celui de Parsons & Strickland (1972).

Les données ont été traitées par une analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs : *marée* (haute mer, jusant, basse mer et flot), *niveau* (surface et fond) et *date*, après normalisation des données et vérification de l'homogénéité des variances (Hartley, 1962).

Résultats

Paramètres physico-chimiques et chlorophylle

La moyenne des températures de l'eau de l'estuaire du Sinnamary a été de $28,6 \pm 1,2^\circ\text{C}$. La température a varié significativement selon le mois (Tab. 1). La valeur minimale a été observée en janvier 97 ($25,2^\circ\text{C}$), et la maximale en février 98 ($32,0^\circ\text{C}$). La température a aussi varié significativement avec la marée (Tab. 1). Les valeurs les plus fortes ont été relevées pendant le flot soit, lors de notre échantillonnage, vers la mi-journée. La différence de température entre la surface et le fond ($0,2^\circ\text{C}$ en moyenne) n'était pas significative.

Tableau 1. Résultats de l'analyse de variance pour les paramètres physico-chimiques.
(*) $0,001 < P < 0,05$; (**) $P < 0,001$;
(n s) $P > 0,05$

	T ($^\circ\text{C}$)	S (‰)	O ₂ (mg.l ⁻¹)	O ₂ (%)	Chloro.($\mu\text{g.l}^{-1}$)
Date	6,42(**)	3,38(*)	8,82(**)	6,95(**)	5,83(**)
Marée	4,95(**)	21,22(**)	17,11(**)	16,74(**)	11,36(**)
Niveau	2,07(n s)	36,64(**)	0,03(n s)	1,59(n s)	-

La salinité moyenne dans l'estuaire a été de $5,6 \pm 7,7$ ‰. Ce paramètre variait significativement pour les trois facteurs considérés (Tab. 1). Une valeur nulle a été observée en février 1997, alors que la salinité maximale a été relevée en décembre 96 (31,0 ‰). La salinité était nettement plus forte à marée haute (11,9 ‰) qu'à basse mer (0,3 ‰) et la salinité moyenne du fond (8,4 ‰) était supérieure à celle de surface (2,7 ‰). L'amplitude maximale entre la surface et le fond a été relevée aux mois de février et de décembre 97.

Les moyennes des concentrations et des pourcentages de saturation en oxygène dissous ont été de $4,7 \pm 0,9$ mg.l⁻¹ et 63 % respectivement. Elles variaient significativement selon le mois de prélèvement et la phase de la marée (Tab. 1). Les valeurs extrêmes ont été de 0,5 et 7,2 mg.l⁻¹ (28 et 97%) aux mois de janvier 98 et juillet 97, respectivement. Pendant un cycle de marée, les valeurs les plus fortes ont été observées lors de la pleine mer (5,3 mg.l⁻¹, 70 % de saturation) et les plus faibles en basse mer (4,2 mg.l⁻¹, 55 % de saturation).

L'amplitude entre la surface et le fond (0,01 mg.l⁻¹, en moyenne) n'était pas significative. Nous n'avons jamais observé de sursaturation en oxygène au cours de notre échantillonnage.

La concentration moyenne en chlorophylle *a* était de $13,5 \pm 0,9$ $\mu\text{g.l}^{-1}$. Elle a varié significativement selon le mois de prélèvement et la phase de la marée. La valeur minimale a été de 2,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en janvier 97, et le maximum de 42,6 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en septembre 97. Plus généralement, la concentration moyenne était deux fois plus forte en étiage que lors de la saison des pluies. De même, les concentrations à marée basse (moyenne de 19,4 $\mu\text{g.l}^{-1}$) étaient nettement plus fortes qu'à marée haute (moyenne de 7,7 $\mu\text{g.l}^{-1}$).

Matières en suspension

La moyenne de MPT dans l'estuaire du Sinnamary a été de $0,31 \pm 0,54$ g.l⁻¹. La charge totale de matières en suspension variait significativement selon les trois facteurs considérés (Tab. 2). Les concentrations ont évolué de 0,02 g.l⁻¹ en février 97 à 4,83 g.l⁻¹ en janvier 98. Les valeurs moyennes pour chaque mois sont présentées à la Figure 4. En saison sèche, les concentrations ont été 1,4 fois supérieures à celles de la saison des pluies. La charge particulaire totale aux mois de janvier et de février 98, était cinq et six fois supérieure à celle relevée à la même période de l'année précédente. Il convient de remarquer que la moyenne du débit sur le Sinnamary durant les premiers mois de l'année 98 a été l'une des plus basses depuis la mise en eau du barrage, avec 157 m³.s⁻¹ (350 m³.s⁻¹, pour la même période en 1997). La charge moyenne totale était maximale pendant la marée basse (0,45 g.l⁻¹), alors qu'elle était environ deux fois plus faible en pleine mer (0,21 g.l⁻¹). De même, la charge moyenne en surface (0,13 g.l⁻¹) était beaucoup plus faible qu'au fond (0,44 g.l⁻¹).

Tableau 2. Résultats de l'analyse de variance pour les matières en suspension.
(*) $0,001 < P < 0,05$; (**) $P < 0,001$
(n s) $P > 0,05$

	MPT	MOP	MIP
Date	44,04(**)	12,82(**)	46,41(**)
Marée	15,41(**)	0,78(n s)	18,69(**)
Niveau	176,09(**)	61,46(**)	175,78(**)

La concentration moyenne en MOP a été de $0,04 \pm 0,06$ g.l⁻¹, soit 13 % de la MPT. Les concentrations ont varié entre et 0,15 g.l⁻¹ (Fig. 5). La concentration de MOP variait significativement avec le mois et le niveau de prélèvement, mais pas selon la marée (Tab. 2). La concentration moyenne au fond (0,06 g.l⁻¹) était trois fois plus élevée qu'en surface.

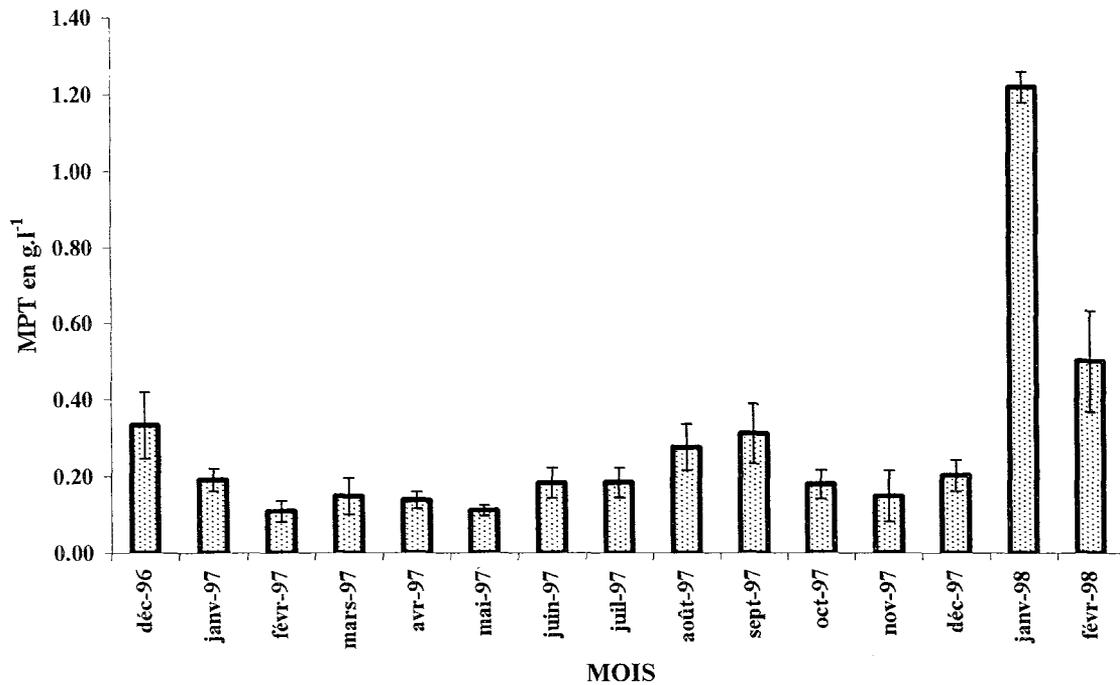


Fig. 4. Moyennes mensuelles (erreur standard) de la matière particulaire totale dans l'estuaire du Sinnamary.

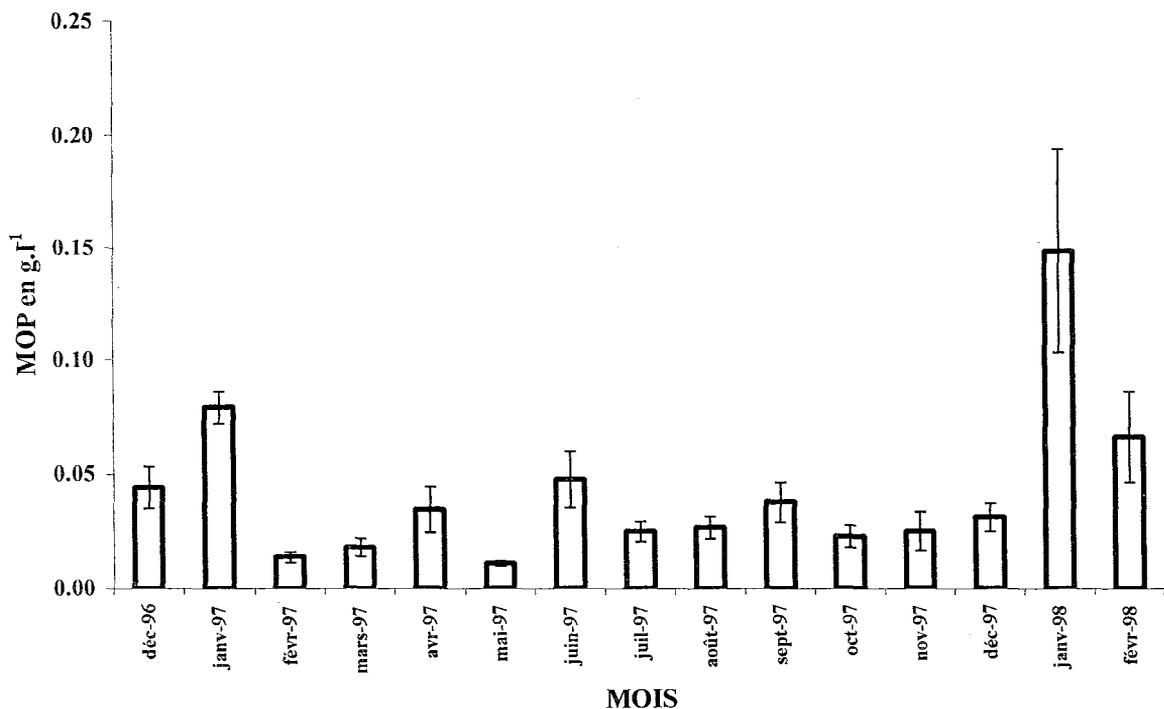


Fig. 5. Moyennes mensuelles (erreur standard) de la matière organique particulaire dans l'estuaire du Sinnamary.

La concentration moyenne de MIP a été de $0,27 \pm 0,48 \text{ g.l}^{-1}$ soit 87 % des MPT. La charge en MIP variait significativement selon les trois facteurs considérés (Tab. 2). Les concentrations ont ainsi évolué de $0,01 \text{ g.l}^{-1}$ en février 97 à $4,38 \text{ g.l}^{-1}$ en

janvier 98. La charge moyenne en surface ($0,11 \text{ g.l}^{-1}$) était nettement plus faible qu'au fond ($0,38 \text{ g.l}^{-1}$). Sur un cycle de marée, les concentrations étaient maximales en basse mer ($0,40 \text{ g.l}^{-1}$) et minimales en pleine mer ($0,17 \text{ g.l}^{-1}$).

Charge solide

La durée du jusant (7,3 h en moyenne) à l'estuaire est toujours supérieure à celle du flot (Lointier, 1990), surtout en période des vives-eaux. Le flux a été estimé en tenant compte des collectes effectuées durant le jusant et le flot (en surface) ainsi que la moyenne du débit, calculée sur les sept jours précédant la collecte. Le débit solide (Q_s) mensuel a été estimé selon la formule, $Q_s = Q_i \times T_i \times C_i$, où:

- Q_s = débit solide (tonnes)
- Q_i = débit (10^3 l.s^{-1})
- T_i = temps du jusant ou du flot (heures)
- C_i = concentration en seston (g.l^{-1})

Il existe une exportation vers l'océan de matière particulaire totale pendant dix des mois échantillonnés et de la matière organique pendant neuf mois (huit mois en 1997).

La moyenne globale pour 97 montre une exportation de la MPT, MOP et MIP respectivement de l'ordre de $0,07 \times 10^3 \text{ t}$ de $0,02 \times 10^3 \text{ t}$ et $0,05 \times 10^3 \text{ t}$ par marée. Si nous extrapolons ces valeurs sur les 705 marées annuelles, nous arrivons à un bilan annuel de $0,05 \times 10^6 \text{ t.an}^{-1}$ pour la MPT, de $0,01 \times 10^6 \text{ t.an}^{-1}$ pour la MOP et $0,04 \times 10^6 \text{ t.an}^{-1}$ pour la MIP.

Relations avec les facteurs du milieu

Nous avons calculé les corrélations (Pearson) entre les paramètres physico-chimiques, la chlorophylle *a* et le seston total, organique et minéral.

La corrélation entre la température de l'eau à l'estuaire et la pluviométrie est significative ($r = -0,78$) surtout en saison des crues ($r = -0,81$). La salinité est faiblement corrélée avec la pluviométrie ($r = -0,47$), sauf en saison des pluies ($r = -0,81$) où le fort débit limitait l'intrusion saline. La relation est ainsi plus marquante avec le débit ($r = -0,69$), quelle que soit la saison, ce qui confirme l'influence fluviale dans l'estuaire. La concentration en oxygène dissous présentait une bonne corrélation ($r = -0,65$) avec la pluviométrie, quelle que soit la saison ($r = -0,84$ en crues et $r = -0,71$ en étiage); en revanche la corrélation avec le débit reste faible, sauf en étiage ($r = -0,53$). La corrélation entre la concentration en chlorophylle *a* et la pluviométrie était significative ($r = -0,63$), surtout en étiage ($r = -0,72$).

La concentration de seston était corrélée avec la pluviométrie ($r = -0,60$), notamment en étiage ($r = -0,75$), ainsi qu'avec le débit ($r = -0,64$) mais principalement en période pluvieuse ($r = -0,92$). Les corrélations entre la pluviométrie et la quantité de matière minérale sont fortes ($r = -0,70$), quelle que soit la saison (en étiage, $r = -0,74$ et en crues $r = -0,72$); les corrélations entre le débit et la matière minérale sont aussi significatives ($r = -0,51$). Des corrélations avec la matière organique existent entre la

pluviométrie en étiage ($r = -0,79$) et entre le débit ($r = 0,56$) surtout en saison pluvieuse ($r = -0,88$).

Discussion

Le débit des fleuves joue un rôle important dans les variations des facteurs physico-chimiques et de la charge en matériel particulaire dans les estuaires. Selon les données publiées par le laboratoire d'hydrologie de l'ORSTOM depuis 1953 (Anonyme, 1975), en saison sèche, les débits minima des plus grands fleuves de Guyane ne descendent pas en dessous de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Maronni, Sinnamary, Approuague), alors que celui des plus petits sont de 6 à $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Iracoubo, Kourou, COUNAMAMA). Avant la mise en eau du barrage de Petit Saut, le débit moyen du Sinnamary en étiage était de l'ordre de 80-100 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et les effets de la marée dynamique atteignaient l'emplacement actuel du barrage, (Vauchel, 1995). Actuellement, le débit moyen à l'aval du barrage est de l'ordre de 270 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et, grâce aux affluents, il atteint 290 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à l'estuaire. Cet accroissement a entraîné une perte du signal de marée (Tejerina-Garro*, com. pers.) et une diminution de la progression du coin salé en amont. Les salinités en surface et au fond à l'estuaire, étaient ainsi respectivement de 12 et 25 ‰ en novembre 1993 pour un débit de 148 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Vauchel, 1995), alors que nous avons relevé en novembre 1997 des valeurs de 3,5 et 6,4 ‰ pour un débit de 280 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La salinité a donc diminué considérablement. De plus, le débit qui variait auparavant d'un facteur 2 est désormais stabilisé par l'activité du barrage.

Colonnello et Medina (1998) ont observé des changements de la végétation, après la construction d'un barrage sur la rivière Mánamo, dans le delta de l'Orénoque (Venezuela). L'écoulement d'eau douce a été réduit de 11 à 0,5 %, ce qui a permis une intrusion saline plus importante en amont du fleuve. Les modifications de salinité et de régime hydrologique provoquées par le drainage et l'envasement ont mené à des changements rapides de la structure et de la composition des communautés de palétuvier, avec pour résultat la détérioration et la mort des arbres en front de mer et l'occupation des palétuviers en zone ripicole (Botero, 1990; Twilley *et al.*, 1995; Botero & Mancera-Pineda, 1996). A l'embouchure du Sinnamary, Fromard *et al.* (1996) ont noté, au contraire un recul de l'influence marine, provoquant un développement progressif des peuplements de *Rhizophora* et des espèces de la forêt ripicole, telles que *Pterocarpus officinalis* ou les palmiers *Euterpe oleracea* et *Mauritia flexuosa* au détriment des *Avicennia*.

(*) Tejerina-Garro, F. L. – Centre IRD de Cayenne – BP 165 – F-97323 – Cayenne cedex – France.

Avant l'installation du barrage de Petit Saut, les teneurs en oxygène dissous dans l'estuaire étaient de l'ordre de 5,7 mg.l⁻¹ (Lhomme, 1994), alors qu'elles n'étaient que de 4,7 mg.l⁻¹ pendant notre étude. De fait, peu après la fermeture du barrage, l'eau de la retenue était devenue anoxique du fait de la minéralisation d'une masse considérable de matière organique ennoyée. Pour maintenir les communautés estuariennes, le Comité Scientifique de Petit Saut a décidé dans un premier temps de maintenir la teneur en oxygène à l'aval du barrage à un seuil de 2 mg.l⁻¹, cette valeur a ensuite été augmentée (7 mg.l⁻¹) pour s'approcher de celle de l'atmosphère, grâce à l'utilisation de systèmes de bullage (Gosse & Grégoire, 1997). Malgré ces précautions, à quelques kilomètres en aval du barrage, nous avons mesuré une concentration moyenne en oxygène dissous de 4,6 mg.l⁻¹, donc proche de celle de l'estuaire.

Les variations de salinité dans les estuaires sont soumises à l'amplitude des marées et au débit des fleuves ; cela occasionne une stratification forte, moyenne ou faible selon le bilan de ces deux facteurs. Sur l'estuaire du Sinnamary, la durée du jusant est toujours supérieure à celle du flot. Cette asymétrie est compensée par des vitesses de courant plus fortes en flot (Lointier, 1990 ; Vauchel, 1995). Nous avons observé en saison des pluies une absence de renverse du courant de surface, le phénomène ne concernant que le fond. Les salinités en surface étaient ainsi inférieures à 5 ‰ en février, mars et mai 1997, avec des débits respectifs de 681, 302 et 1088 m.s⁻³. Ce très fort amortissement du signal de marée en surface est la conséquence du débit fort et constant du barrage de Petit Saut en saison des pluies.

Les teneurs en chlorophylle des fleuves de Guyane ont été peu étudiées (Nogues, 1984). De récents travaux en eau douce montrent des concentrations en chlorophylle *a* de l'ordre de 2 µg.l⁻¹ sur la rivière Conté et de 5 µg.l⁻¹ sur le fleuve Oyapock (Carmouze*, com. pers.), alors que les concentrations en mer varient de 2,3 à 13,9 µg.l⁻¹ (Guiral**, com. pers.). La moyenne relevée au cours de notre étude est de 13,5 µg.l⁻¹. Nos résultats laissent supposer une origine fluviale des pigments en période des crues et une origine maritime en saison sèche. La quantité de chlorophylle était deux fois plus élevée en étiage qu'en saison pluvieuse. Dans les estuaires, les éléments nutritifs sont rarement un facteur limitant. La production dépend donc de la lumière et des phénomènes physiques qui contrôlent la dispersion des communautés planctoniques (Fichez *et al.* 1992; Ketchum 1954). Nous avons observé, au cours d'un cycle de marée, les concentrations les plus fortes à marée basse et des teneurs plus faibles lors de la

pleine mer, sans écarter le fait que le matériel terrigène peut absorber dans la même longueur d'onde que la chlorophylle (Antoine *et al.*, 1996). Wright *et al.* (1997) ont observé de fortes variations de la concentration en chlorophylle associées à la resuspension des sédiments pendant les marées des vives-eaux. Cela entraîne de fortes productions primaires (Hobbie *et al.*, 1975; Fichez *et al.*, 1992). Antoine *et al.* (1996), ont ainsi estimé la production globale de carbone des estuaires à 36,5 Gt.an⁻¹, dont 26,5 % provenant des zones équatoriales.

Les estuaires sont caractérisés par une large gamme de variations temporelles, depuis les fluctuations à court terme, pilotées principalement par les courants de marée, jusqu'aux évolutions saisonnières ou inter annuelles provoquées par des changements météorologiques. De plus, les estuaires de Guyane, sont le siège d'instabilités étroitement liées à la dynamique des bancs de vases littorales, donc aux périodes d'envasement et d'érosion. Nous avons observé les charges particulières maximales lors des marées basses et minimales en marée haute. Une telle alternance est classique (Lindsay *et al.*, 1996 ; Cadée, 1984). Le maximum de turbidité est, en effet, étroitement associé à l'interface entre l'eau douce et l'eau de mer (Uncles & Stephens, 1993). Sur l'année 1997, les charges sestoniques ont suivi un cycle saisonnier avec des concentrations un peu plus fortes pendant la saison sèche. Les mois de janvier et de février 98 ont présenté des concentrations en matières particulières très fortes par rapport à la même période de l'année précédente. En fait, la moyenne du débit sur le Sinnamary durant ces deux mois, a été l'une des plus basses depuis la mise en eau du barrage en raison des effets d'un fort épisode "El Niño" (Anonyme, 1998). Une variation saisonnière analogue dans la distribution des dépôts a été identifiée dans l'estuaire de Wester (Grabermann & Krause, 1989 *in* Lindsay *et al.*, 1996).

L'estimation du bilan global montre une exportation des particules. Cette caractéristique pourrait être liée entre autres, à la durée du jusant par rapport à celle du flot (vives-eaux), due à l'asymétrie des marées (Lointier, 1990) en Guyane. Selon Meade *et al.* (1985), 13x10⁸ t de sédiments sont déchargés chaque année par le fleuve Amazone et 20% de cette masse transitent sur les côtes des Guyanes. Nos observations montrent que le flux total annuel de matières particulières dans l'estuaire du Sinnamary correspond à environ 0,5% de ce chiffre, ce qui montre le rôle mineur des fleuves locaux sur la sédimentation côtière de Guyane. En dépit de leur caractère approximatif, lié notamment aux incertitudes sur les transits particuliers durant les mortes-eaux, les ordres de grandeur que nous proposons présentent un intérêt certain car les données sur la dynamique des estuaires de Guyane sont rares.

(*) Carmouze, J.-P. – Centre IRD de Cayenne – BP 165 – F-97323 – Cayenne cedex – France.

(**) Guiral, D. – Centre IRD de Cayenne – BP 165 – F-97323 – Cayenne cedex – France.

Globalement, la mise en eau du barrage de Petit Saut, a donc entraîné une modification du transit des sédiments, de la salinité et de la teneur en oxygène dissous dans l'estuaire. Le débit a été régulé et accru, notamment pendant la saison des pluies, limitant l'influence marine. Les conséquences biologiques sont localement importantes avec une évolution notable de la végétation des berges. L'influence du fleuve sur la zone côtière est cependant très amortie par l'arrivée massive des apports amazoniens et les conséquences des modifications du régime du Sinnamary sont vraisemblablement très faibles hors de son estuaire.

Bibliographie

- Allison, M. A.; Nittrouer, C. A. & Faria Jr., L. E. C. 1995. Rates and mechanisms of shoreface progradation and retreat downdrift of the Amazon river mouth. *Mar. Geol.*, 125(3-4):373-392.
- Allison, M. A.; Nittrouer, C. A.; Faria, Jr., L. E. C. Silveira, O. M. & Mendes, A. C. 1996. Sources and sinks of sediment to the Amazon margin: The Amapa coast. *Geo-Mar. Lett.*, 16(1):36-40.
- Anonyme. 1975. Bilan de vingt-cinq années d'études hydrologiques en Guyane Française. Document interne. ORSTOM, Section Hydrologique. p. 1-85.
- Anonyme. 1998. Bulletin climatologique annuel, météo-france. Département de la Guyane. p.1-5.
- Antoine, D.; André, J.-L. & Morel, A. 1996. Oceanic primary production. 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll. *Global biogeochem. Cycles*, 10(1):57-69.
- Betoulle, J.-L. 1998. Variations spatio-temporelles de la production de litière et des apports au sol en éléments minéraux dans 5 faciès d'une mangrove en Guyane française. Tese de doutorado. Paris, Université de Toulouse. 150p.
- Botero, L. & Mancera-Pineda, J. E. 1996. Síntesis de los cambios de origen antrópico ocurridos en los últimos 40 años en la Ciénaga de Santa María (Colombia). *Revta Acad. colomb. Cienc.*, 20:465-474.
- Botero, L. 1990. Massive mangrove mortality on the Caribbean coast of Colombia. *Vida Silvestre Neotropical*, 2:77-78.
- Boto, K. G. & Wellington, J. T. 1988. Seasonal variations in concentrations and fluxes of dissolved organic and inorganic materials in a tropical, tidally-dominated, mangrove waterway. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 50(1-2):151-160.
- Bouysse, P.; Kudrass, R. R. & Le Lann, F. 1977. Reconnaissance sédimentologique du plateau continental de la Guyane française (Mission Guyamer 1975). *Bull. B.R.G.M.*, 2 (IV,2):141-179.
- Briand, G.; Scribe, P.; Pepe, C.; Saliot, A.; Mariotti, A. & Bruchet, A. 1993. Transfert de la matière organique des sols aux matières en suspension: caractérisation et évolution en fonction de la pédologie de petits bassins versants du nord de Manaus (Brésil). In: COLLOQUES ET SEMINAIRES, GRANDS BASSINS FLUVIAUX. Paris, 1993. p.425-436.
- Cadée, G. C. 1984. Particulate and dissolved organic carbon and chlorophyll *a* in the Zaire river, estuary and plume. *Neth. J. Sea Res.*, 17(2-4):426-440.
- Castaing, P. & Pujos, M. 1976. Interprétation de mesures hydrologiques effectuées sur le plateau continental de la Guyane française. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 20:99-106.
- Charron, C.; Betoulle, J.-L.; Panechou, K.; Gardel, A.; Prost, M. T. & Loubry, D. 1997. Étude et suivi de l'évolution géomorphologique et botanique de l'estuaire du Sinnamary par Télédétection. Rapport Final R2-R3. Cayenne, ORSTOM. p.1-64.
- Colonnello, G. & Medina, E. 1998. Vegetation changes induced by dam construction in tropical estuary : the case of the Mánamo river, Orinoco Delta (Venezuela). *Plant Ecol.*, 139(2):145-154.
- Dessier, A. 1990. L'impact des effluents fluviaux sur les écosystèmes marins - L'Amazonie et l'Atlantique tropical nord-ouest. Document interne. Brest, ORSTOM. p.1-44.
- Eisma, D. & Van Der Marel, H. M. 1971. Marine muds along the Guyana Coast and their origin from Amazon Basin. *Contr. Miner. Petrology*, 321-324.
- Eisma, D.; Augustinus, P. G. E. F. & Alexander, C. 1991. Recent and subrecent changes in the dispersal of Amazon mud. *Neth. J. Sea Res.*, 28(3):181-192.

- Fichez, R.; Jickells, T. D. & Edmunds, H. M. 1992. Algal blooms in high turbidity, a result of the conflicting consequences of turbulence on nutrient cycling in a shallow water estuary. *Estuar. coast. Shelf Sci.*, 35:577-592.
- Froidefond, J. M.; Prost, M. T. & Griboulard, R. 1985. Étude de l'évolution morpho-sédimentaire de littoraux argileux sous climat équatorial : l'exemple du littoral guyanais. Rapport CORDET, IGBA, 84L0897. 189p.
- Froidefond, J. M.; Griboulard, R.; Prud'homme, J. & Pujos, M. 1987. Déplacements des bancs de vase et variation du littoral de Guyane française. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 42:67-83.
- Froidefond, J. M.; Pujos, M. & Andre, X. 1988. Migration of mud banks and changing coastlines in French Guiana. *Mar. Geol.*, 84(1-2):19-30.
- Fromard, F.; Puig, H.; Peltier, A.; Betoulle, J.-L.; Mougin, E. & Marty, G. 1996. Structure, dynamique et biomasse des mangroves de Guyane française. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi, sér. Ciênc. da Terra*, 8:5-29.
- Frouin, 1997. Revue des connaissances sur la zone côtière de Guyane Française. Rapport Interne PNOG. p.1-86.
- Gosse, P. H. & Grégoire, A. 1997. Dispositif de réoxygénation artificielle du Sinnamary à l'aval du barrage de Petit-Saut (Guyane). *Hydroécol. Appl.*, 9(1-2):23-56.
- Granville, J.-J. de 1986. Les formations végétales de la bande côtière de Guyane française. In: CONGRES REGIONAL DE L'ENVIRONNEMENT, 1^{er}. Cayenne, 1985. p.47-63
- Hartley, H. O. 1962 Analysis of variance. In: Ralston, A. & Wilf, H. S. eds *Mathematical methods for digital computers*. New York, Wiley. p. 221-230.
- Hobbie, J. E.; Copeland, B. J. & Harrison, W. G. 1975. Sources and fates of nutrients in the Pamlico River estuary, North Carolina. In: Cronin, L. E. ed. *Estuarine Research*. New York, Academic Press, 2:287-302.
- Ketchum, B. H. 1954. Relation between circulation and planktonic populations in estuaries. *Ecology*, 35:191-200.
- Lescure, J. P. 1977. La mangrove guyanaise: architecture des jeunes stades et vie avienne. *Cahiers O.R.S.T.O.M., sér. Biol.*, 12:361-375.
- Lhomme, F. 1994. Le recrutement des postlarves de *Penaeus subtilis* et de *Xiphopenaeus kroyeri* dans l'estuaire du Sinnamary. *Rev. Hydrobiol. trop.*, 27(4):385-406.
- Lindsay, P.; Balls, P. W. & West, J. R. 1996. Influence of tidal range and river discharge on suspended particulate matter fluxes in the Forth estuary (Scotland). *Estuar. coast. Shelf Sci.*, 42(1):63-82.
- Lointier, M. 1990. Evolution de la qualité des eaux et dynamique de l'intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary. Rapport Convention ORSTOM - EDF - CNEH. p.1-50.
- Meade, R. H.; Dunne, T.; Richey, J. E.; Santos, U. M. & Salati, E. 1985. Storage and remobilisation of suspended sediment in the lower Amazon river of Brazil. *Science*, 228(4698):488-490.
- Meybeck, M. 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Am. J. Sci.*, 282(4):401-450.
- Nixon, S. M.; Furnas, B. N.; Lee, V.; Marshall, N.; Ong, J. E.; Wong, C. H.; Cong, W. K. & Sasekumar, A. 1984. The role of the mangroves in the carbon and nutrient dynamics of Malaysia estuaries. In: Soepadmo, E.; Rao, A. N. & Macintosh, D. J. eds. *University of Malaysia, Kuala Lumpur*. p.535-544.
- Nogues, J.-L. 1984. Étude de l'intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary (Guyane Fr.). Mémoire de D.E.A. Université de Provence, ORSTOM. p.1-45.
- Odum, W. E.; McIvor, C. C. & Smith, T. J. 1982. The ecology of the mangroves of south Florida: a community profile. Washington, D. C., US. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. FWS/OBS-81/24.
- Orange, D.; Olivry, J. C. & Censier, C. 1993. Variations et bilans de matières particulaires et dissoutes de l'Oubangui à Bangui. In: COLLOQUES ET SEMINAIRES, GRANDS BASSINS FLUVIAUX. Paris, 1993. p. 147-158.
- Parsons, T. R. & Strickland, J. D. H. 1972. A practical handbook of seawater analyses. *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, 167:1-311.
- Peltier, A. 1993. Caractérisation et dynamique des mangroves de Guyane française. DEA d'écologie générale et productivité végétale. Paris, Université de Paris VI. p.1-39.

- Prost, M. T. 1990. Coastal dynamics and cheniers sands in French Guiana. *Mar. Geol.*, 90(4):259-267.
- Puig, H. & Delobelle, J. P. 1988. Production de litière, nécromasse, apports minéraux au sol par la litière en forêt guyanaise. *Rev. Ecol-Terre Vie*, 43:99-124.
- Riaux-Gobin, C. 1987. Phytoplancton, tripton et microphytobenthos : échanges au cours de la marée, dans un estuaire du Nord-Finistère. *Cah. Biol. mar.*, 28(2):159-184.
- Rojas-Beltran, R. 1986. Rôle de la mangrove comme nourricerie de crustacés et de poissons en Guyane. In: CONGRES REGIONAL DE LA SEPANGUY: LE LITTORAL GUYANAIS. FRAGILITE DE L'ENVIRONNEMENT. Cayenne, 1986. p. 97-110.
- Twilley, R.; Snedaker, S. C.; Arancibia, E. & Medina, E. 1995. Mangrove systems. In: Heywood, V. H. ed. *Global biodiversity assessment*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Vauchel, P. 1995. Intrusion saline sur l'estuaire du fleuve Sinnamary. Rapport Final. ORSTOM, HCI. p.1-45.
- Winter, P. E. D.; Schlacher, T. A. & Baird, D. 1996. Carbon flux between an estuary and the ocean : a case for outwelling. *Hydrobiologia*, 337(1-3):123-132.
- Woodroffe, C. D. 1985. Studies of a mangrove basin, Tuff Crater, New Zealand: III. The flux of organic and inorganic particulate matter. *Estuar. coast. Shelf Sci.*, 20(4):447-461.
- Wright, P. N.; Hydes, D. J.; Lauria, M. L.; Sharples, J. & Purdie, D. A. 1997. Data buoy measurements of phytoplankton dynamics in Southampton Water, UK, a temperate latitude estuary with high nutrient inputs. *Ger. J. Hydrog.*, 49(2-3):203-211.

(Manuscript receive 10 May 1999; revised 03 July 2000; accepted 21 Septembre 2000)