

Suspensions
Sédimentation
Delta Orénoque
Golfe de Paria

Suspended matter
Sedimentation
Orinoco delta
Gulf of Paria

Origine de la sédimentation dans le delta de l'Orénoque et le golfe de Paria (Venezuela) : impact du système dispersif amazonien

Michel PUJOS ^a, José MONENTE ^b, Claude LATOUCHE ^a et Noëlle MAILLET ^b

^a Département de Géologie et Océanographie, URA-CNRS 197, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

^b Fundacion La Salle de Ciencias Naturales, Av. Boyaca, Apdo de correo 1930, Caracas 1010A, Venezuela.

Reçu le 14/01/97, révisé le 28/05/97, accepté le 30/05/97.

RÉSUMÉ

Les matières en suspension qui transitent par l'Orénoque vers le delta sont issues pour l'essentiel des Andes colombiennes. Les quatre minéraux argileux (kaolinite, chlorite, illite et smectite) sont toujours présents dans les suspensions deltaïques, les dépôts du delta et du golfe de Paria. Les teneurs en illite y dominant sauf dans les régions du golfe de Paria éloignées des embouchures des tributaires de l'Orénoque caractérisées par les smectites. Sur le delta les teneurs en illite, minimales en saison sèche, augmentent sensiblement au cours de la saison des pluies marquée par une forte décharge liquide et particulaire.

Dans le delta, le cortège argileux du substrat est comparable à celui des suspensions de saison sèche (février) témoignant ainsi d'une sédimentation composée de matière particulaire d'origine orénoquienne et amazonienne. En saison humide, les fortes décharges liquide et particulaire transitent par le delta puis pénètrent et se dispersent en mer des Caraïbes et dans le proche Atlantique. Les cortèges argileux décrits dans le golfe de Paria montrent que cette participation allochtone de l'Amazone à la sédimentation deltaïque de l'Orénoque y est beaucoup plus prononcée. Dans cette région, les variations spatiales des teneurs en illite montrent que ce minéral s'avère un bon marqueur de la circulation.

ABSTRACT

Origin of sediment accumulation in the Orinoco delta and the Gulf of Paria: Amazon River sediment input.

The suspended matter transported by the Orinoco to the Orinoco delta originates mainly in the Colombian Andes. The four clayey minerals (kaolinite, chlorite, illite and smectite) are always present in the deltaic suspensions, the delta deposits and the gulf of Paria. Illite contents are always dominant except in those regions of the gulf of Paria situated far from the mouths of the Orinoco tributaries characterized by smectites. In the delta, illite contents which are minimal during the dry season increase noticeably during the wet season which is marked by a high liquid and particulate matter discharge.

In the delta, the clay mineralogy of the substrate is comparable to that of dry season suspensions (February), thus showing a sedimentation composed of particulate matter carried by the Orinoco and Amazon rivers.

In the wet season, the high liquid and particulate discharges circulate through the delta, then enter and disperse in the Caribbean Sea and the near Atlantic. The clay mineralogy described in the gulf of Paria show that this allochthonous

participation of the Amazon in the deltaic sedimentation of the Orinoco is much more pronounced there. In this region, the spatial variations in illite content show this mineral to be a good marker for circulation.

Oceanologica Acta, 1997, 20, 6, 799-809.

INTRODUCTION

Dans le delta de l'Orénoque (fig. 1) la séquence transgressive post-glaciaire débute, comme dans tous les grands deltas, par des dépôts correspondant à une rapide montée du niveau marin (Coleman, 1976). Vers 8000 ans BP, cette vitesse décroît, favorisant la construction du delta actuel à laquelle participent deux des plus importants fleuves sud-américains : l'Orénoque et l'Amazone (Van Andel et Sachs, 1964).

L'ORENOQUE transporte aujourd'hui d'importantes quantités de matières en suspension (MES) : $1,5 \times 10^8$ t.an⁻¹ (Meade *et al.*, 1989-1990). Une partie de cet apport sédimente dans le delta (Eisma *et al.*, 1978), l'autre est dispersée saisonnièrement dans l'Océan Atlantique et en Mer des Caraïbes, via le Golfe de Paria (Muller Karger et Varela, 1989-1990; Monente 1989-1990 *a, b*; Muller-Karger et Castro, 1994).

L'AMAZONE véhicule d'énormes quantités de MES : 1,1 à $1,3 \times 10^9$ t.an⁻¹ (Meade *et al.*, 1989-1990) dont une part significative ($1,5 \times 10^8$ t.an⁻¹) est déviée vers le Nord-Ouest sous l'action conjuguée des houles d'alizés et du courant des Guyanes.

Les études satellitales de Muller-Karger *et al.* (1988) mettent à l'évidence l'importance du système dispersif amazonien vers le Nord-Ouest. Sur la plateforme interne des Guyanes il est constitué d'un prisme sédimentaire

vaseux, de bancs de vase migrants et de suspensions (Delft Hydraulics Laboratory, 1962; Gibbs, 1967 *a, b*; Nedeco, 1968; Pujos et Odin, 1986; Eisma *et al.*, 1991). Sur cette côte, les suspensions pénètrent régulièrement sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des fleuves sous l'action tidale (Pujos *et al.*, 1996).

Plus à l'Ouest, les eaux d'origine amazonienne s'étalent jusqu'en mer des Caraïbes (Stalcup et Metcalf, 1972) et les matières en suspension qu'elles transportent sédimentent sur les plateformes continentales (Milliman *et al.*, 1982) et en milieu profond (Bowles et Fleischer, 1985).

Sur le delta de l'Orénoque, les matières en suspension des deux fleuves se mélangent (Van Andel, 1967; Eisma *et al.*, 1978). Récemment, Eisma *et al.* (1991) estiment à $1,5 \times 10^8$ t.an⁻¹ et 1×10^8 t.an⁻¹ les vases en suspension et les boues amazoniennes pénétrant en zone caraïbe.

Les cycles hydrologiques annuels de l'Orénoque et de l'Amazone ne sont pas identiques : comme les décharges liquides maximales interviennent respectivement pour le premier en août-septembre et pour le second en mai, la région du delta de l'Orénoque et sa plateforme adjacente subissent alternativement l'impact des deux fleuves (tab. 1). La prise en compte du contrôle saisonnier des suspensions est donc indispensable pour une bonne compréhension des phénomènes de mélange.

Des travaux antérieurs, sur les cortèges argileux des MES fluviatiles de zone intertropicale, ont montré l'intérêt de

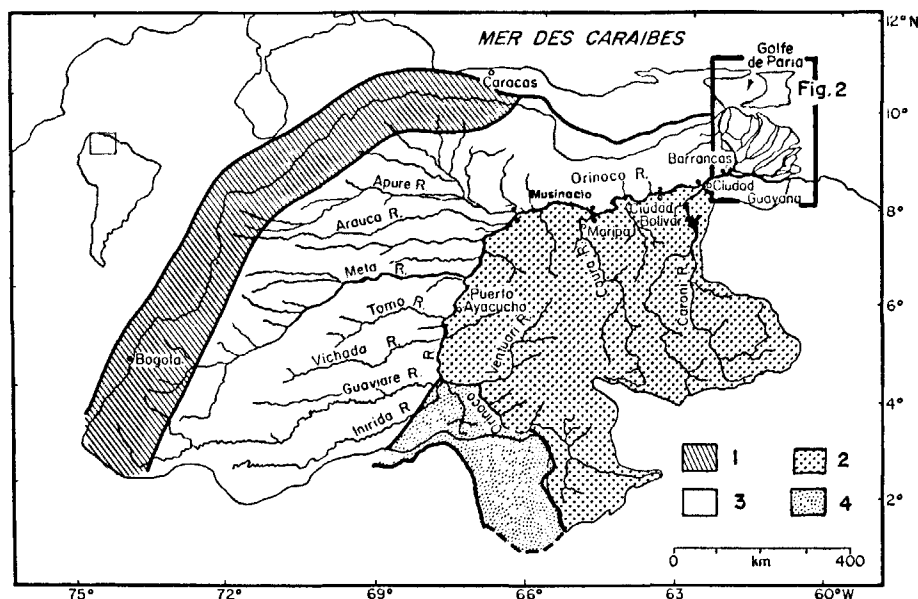


Figure 1

Provinces physiographiques drainées par l'Orénoque. 1. Andes ; 2. Bouclier guyanais ; 3. llanos ; 4. péninsules du Sud.

Major physiographic provinces of the Orinoco watershed.

Tableau 1

Décharge liquide de l'Orénoque et de l'Amazone au large du delta de l'Orénoque (d'après Muller Karger et Varela, 1989-1990).

Mean annual discharge of the Amazon and Orinoco rivers, off the Orinoco mouth (after Muller, Karger and Varela, 1989-1990).

Fleuve	Période		
	mars-mai	juillet-novembre	décembre-février
Amazone	minimum en augmentation	maximum en diminution	minimum
Orénoque	minimum	maximum	en diminution

l'utilisation de ces argiles comme marqueur de l'origine des MES et traceur des circulations (Pujos et Javelaud, 1991 ; Pujos *et al.*, 1995 ; Pujos *et al.*, 1996) : en Amazonie on peut aussi distinguer les cortèges argileux andins et ceux des llanos (Guyot, 1992) et on connaît la part respective de chacun d'eux sur les côtes de la Guyane française (Pujos *et al.*, 1996). Une réflexion comparable est proposée dans ce travail où l'identification et la répartition spatiale des cortèges argileux en suspension et dans les dépôts de la région de l'Orénoque conduisent à s'interroger sur l'origine des dépôts actuels et sur l'impact du prisme dispersif amazonien sur la sédimentation.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU BASSIN DE L'ORÉNOQUE

Le bassin de l'Orénoque est vénézuélien pour sa plus grande partie (70 %) et secondairement colombien (30 %). Il regroupe sur $1,1 \times 10^5$ km² (fig. 1) : i) à l'Ouest et au Nord-Ouest, une partie des cordillères andine orientale et caraïbe, d'âge tertiaire, où l'étagement climatique des végétations va des terres chaudes au superparamo (Van der Hammen, 1968). L'érosion y est forte, ii) au Sud-Est une région précambrienne, prolongement vers l'Ouest du bouclier guyanais qui se décompose en une série d'anciennes chaînes de montagnes issues de géosynclinaux (Choubert, 1974) : à l'Ouest du rio Caura se développent des chaînons et massifs granitiques atteignant 1 200 m et surplombant les llanos ; à l'Est les reliefs s'abaissent et seuls quelques dômes rappellent la présence des granites. Les sols ferrallitiques à couverture forestière alternent d'une part avec des sols minces peu retenus par une maigre savane, d'autre part avec des zones volcano-sédimentaires à plus fort taux d'érosion (Petit, 1978 ; Chardon et Petit, 1978) iii) les llanos, bassin sédimentaire dont la formation est due à l'orogénèse andine. Constituées de dépôts récents (Néogène, Pleistocène), ces plaines, couvertes de savanes souvent arborées, s'étendent de la chaîne caraïbe aux forêts du bouclier guyanais, des Andes au delta de l'Orénoque. Les llanos colombiens présentent un Sud à forêt tropicale pluviale centré autour du rio Guaviare et un Nord où dominent les savanes humides tranchées par les forêts galeries du rio Meta (Bataillon *et al.*, 1991). L'érosion peut être légère et modérée comme dans la région du rio Guaviare, intense au Nord du rio Vichada (Instituto A. Codazzi, 1989) iv) au Sud s'étendent des pénéplaines

identiques à celles du Ventuari (Stallard, 1985 ; Vasquez et Wilbert, 1992).

Le climat de ces régions est lié à la présence de la zone intertropicale de convergence (ZIC) dont la migration latitudinale saisonnière induit une saison humide (juin-octobre) et une saison sèche (février-mai). Dans le bassin de l'Orénoque, les pluies importantes augmentent du Nord (1 200 mm an⁻¹) au Sud (3 600 mm an⁻¹) avec, pour le delta proprement dit, une moyenne de 2 000 mm an⁻¹ (Vasquez et Wilbert, 1992).

Trois types climatiques ont été reconnus (Vasquez et Wilbert, 1992) : i) dans les régions forestières du Sud du bassin les températures sont fortes, les pluies intenses et la saison sèche bien marquée, ii) dans le delta et le Nord-Est du bouclier guyanais les précipitations sont fortes avec une courte saison sèche, iii) dans les savanes la saison sèche est particulièrement longue (décembre à mars).

Les grands tributaires andins (fig. 1) de la rive gauche (Apure, Meta, Guaviare) accusent, dans les Andes, une pente prononcée (jusqu'à 20 %) qui leur confère une grande capacité d'érosion et de transport, pouvant atteindre 1 000 à 1 500 t.km².an⁻¹ (Zink, 1982). Dès le piémont andin, leur pente diminue fortement et devient très faible dans les llanos, entraînant la formation de méandres. Leur débit liquide moyen évolue de l'amont vers l'aval : l'exemple du rio Meta est significatif avec des valeurs passant de 500 m³ s⁻¹ au piémont andin à 4 500 m³ s⁻¹ au confluent de l'Orénoque (Instituto A.Codazzi, 1989).

Les tributaires de la rive droite qui comptent parmi les plus importants du bassin (Caroni, Caura, Ventuari) drainent avec le haut Orénoque le bouclier guyanais. Le débit moyen du rio Ventuari est de l'ordre de 1 680 m³ s⁻¹ (Weibezahn, 1990). Leur pente est variable mais le taux d'érosion est toujours faible (environ 10 mm an⁻¹) avec une égale contribution des flux de matériel particulaire et dissous (Meade *et al.*, 1983 ; Lewis *et al.*, 1987 ; Edmond *et al.*, 1995).

Les mesures réalisées sur l'Orénoque et les principaux tributaires (Weibezahn, 1990 ; Zink, 1982) montrent que :

– le débit liquide des tributaires de la rive gauche (64×10^{10} m³.an⁻¹) est deux fois plus important que celui des tributaires de la rive droite (34×10^{10} m³.an⁻¹).

– la décharge solide est très dissymétrique : forts apports andins dans les affluents de la rive gauche, faibles apports dans ceux de la rive droite. En effet, sur un total de 150×10^6 t.an⁻¹ ($\pm 50 \times 10^6$ t.an⁻¹) de matières en suspension (MES) qui aboutissent au delta, 50 % proviennent du rio Meta, 20 % des rio Guaviare et Apure. Comme pour l'Amazone (Guyot, 1992) la majeure partie des MES est d'origine andine.

A l'apex du delta, à Barrancas (Meade *et al.*, 1990) ou Musinacio (Lewis *et al.*, 1987) les estimations mensuelles montrent (fig. 3) : i) une décharge liquide minimale en mars (6 000 m³.s⁻¹) et maximale en août-septembre (60 000 m³.s⁻¹), ii) une décharge solide minimale en mars ($1,1 \times 10^6$ t.mois⁻¹) et maximale en octobre (25×10^6 t.mois⁻¹), iii) des concentrations en MES minimales en février-mars (65 mg l⁻¹) et maximales en mai-juin (220-300 mg l⁻¹).

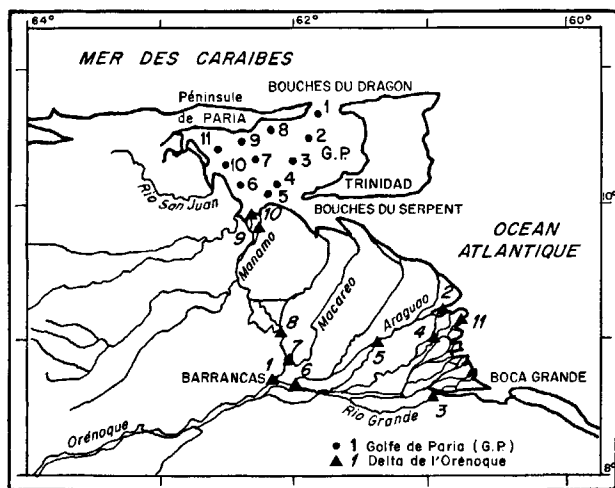


Figure 2

Le delta de l'Orénoque et le golfe de Paria. Stations d'échantillonnage. Delta de l'Orénoque : 1. Rio Grande; 2. Barra Araguao; 3. Curiapo; 4. Santa Rosa; 5. Araguao medio; 6. Boca Araguao; 7. Manamo antes Cierre; 8. Tucupita; 9. Manamo medio; 10. Pedernales; 11. Merehina. Golfe de Paria 1 à 11.

The Orinoco delta and the Gulf of Paria. Sample location.

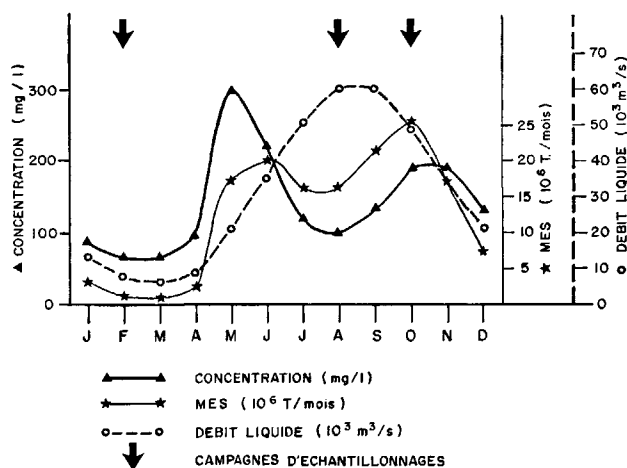


Figure 3

Débits liquides, concentrations et flux de matières en suspension à Musinacio, bas Orénoque pendant la période 1970-1976 (d'après Meade *et al.*, 1983, 1990).

Annual mean discharge, concentrations and flux of suspended matter for the lower Orinoco at Musinacio during 1970-1976 (after Meade et al., 1983, 1990).

Le delta s'étale au Nord-Est du Venezuela sur 22 500 km² (fig. 2). Limitée au Sud par le bouclier des Guyanes, toute la région est plate, à très faible pente et seuls quelques dômes de boue (inférieurs à 10 m d'altitude) rompent la monotonie du paysage.

Le delta est constitué : i) de plaines argileuses, marais, îles argileuses ou sableuses, tourbières où se développent des formations arbustives à forêts basses, palmiers et mangroves (Canales, 1985), ii) de nombreux bras (caños)

interconnectés qui limitent le nombre d'embouchures à la côte (type IIB de la classification des deltas, Coleman, 1976). Parmi les plus importants : au Sud, le Rio Grande, draine vers l'Est et l'Atlantique 85% des eaux de l'Orénoque; à l'Ouest, le caño Manamo et l'un de ses diverticules le caño Macareo envoient les eaux de l'Orénoque vers le Nord en mer des Caraïbes via le golfe de Paria.

Le delta est divisé en trois ensembles : supérieur, moyen et inférieur. Dans sa partie supérieure, les inondations sont uniquement liées aux crues saisonnières de l'Orénoque. Dans les deltas moyen et inférieur, les processus fluvio-marins prédominent; compte tenu de la très faible pente, les inondations s'y prolongent en dehors de la saison des crues ou deviennent permanentes (Vasquez et Wilbert, 1992).

Sur le delta le marnage est généralement faible, par comparaison aux différences de hauteurs d'eau entre étiage et crues. C'est ainsi qu'à Barrancas le marnage est de 60 cm alors que 9 m séparent hautes et basses eaux (Van Andel, 1967). Il en résulte que l'ensemble du delta, à l'exception du Rio Grande, est noyé en temps de crue.

Le Golfe de Paria (fig. 2) est un bassin peu profond (40 m maximum) limité au Nord par les reliefs (h = 1000 m) de la péninsule de Paria et de l'île de Trinidad plongeant sur une côte rocheuse et découpée. A l'Est, l'île de Trinidad est bordée de falaises basses et de plages. Au Sud-Ouest s'étendent d'importantes sliques entrecoupées d'estuaires (rio San Juan) et des tributaires de la partie nord du delta de l'Orénoque (caño Manamo). Quatre faciès sédimentaires sont reconnus dans le Golfe (fig. 4) : (1) des sables et limons argileux marrons, (2) des limons argileux noirs au nord du delta, (3) des argiles et limons argileux dans la partie centrale (4) des sables terrigènes et sables carbonatés sur les côtes Nord et Est (Llano, 1993).

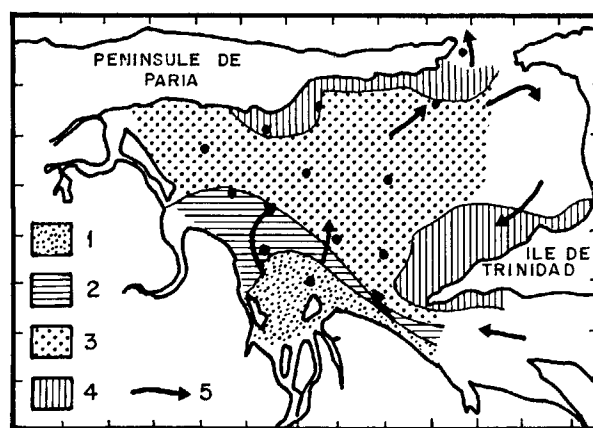


Figure 4

Faciès sédimentaires du golfe de Paria (Llano, 1993) 1. sables et limons argileux marrons; 2. limons argileux noirs; 3. argiles et limons argileux; 4. sables terrigènes et sables carbonatés; 5. direction des courants de surface.

Distribution of sedimentary facies (Llano, 1993). 1. sands and silty-clay loams; 2. black silty-clay loams; 3. clays and silty-clay loams; 4. terrigenous sands and carbonate sands; 5. surface currents.

MÉTHODES D'ÉTUDE

Prélèvements

Sur le delta, les échantillonnages d'eau (bouteille Van Dorn) et du substrat (benne) ont été effectués lors de trois campagnes en 1992-1993 (figs. 2, 3) : a) *en saison sèche* lorsque les débits liquides ($8 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), les flux en MES ($1 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{mois}^{-1}$) et les concentrations en MES (65 mg l^{-1}) sont faibles (Meade *et al.*, 1990) ; b) *en saison des pluies* lorsque les débits liquides (août) et les flux particuliers (octobre) sont maximum.

Dans le golfe de Paria (fig. 2) onze stations de substrat (benne) complètent l'échantillonnage.

Analyse des minéraux argileux

Les minéraux argileux sont analysés par diffractométrie de RX (diffractomètre Philips-radiation Ka du cuivre-filtre nickel- 35 kV et 25 mA). Les sédiments sont préalablement décarbonatés (0,1 N HCl) et rincés à l'eau déionisée. La fraction argileuse ($< 2 \mu\text{m}$) est séparée par gravité puis centrifugée. La pâte récupérée est étalée sur trois lames de verre pour l'analyse aux RX selon la méthode décrite par Holtzapffel (1985). Une lame est analysée sans traitement, la deuxième est examinée après une saturation à l'éthylène-glycol et la troisième est observée après chauffage à 550°C pendant une heure. L'identification des minéraux argileux est basée sur leur réaction typique à ces traitements (Brown, 1961 ; Thorez, 1975). Leur quantité relative est calculée d'après la hauteur des réflexions caractéristiques sur les diagrammes des échantillons glycolés : 17 Å pour les smectites, 10 Å pour les illites, 7,1 Å et 3,57 Å pour les kaolinites, 14 Å, 7,1 Å, 4,7 Å et 3,55 Å pour les chlorites.

Dans tous les niveaux on note la présence d'interstratifiés gonflants de type chlorite-smectite se traduisant sur les diffractogrammes « glycol » par un épaulement entre les pics à 14 et 17 Å et entre 10 et 14 Å sur les diffractogrammes des échantillons chauffés.

Les pics d'illite déterminés ici présentent une superposition de deux raies : l'une étroite attribuée aux micas et l'autre, plus large, appartenant aux illites. Sur les diagrammes RX cette superposition se traduit par la présence d'un épaulement vers les petits angles sur le pic de 10 Å. La séparation entre mica et illite a été faite en fonction de la hauteur de cet épaulement par rapport à la hauteur de la raie fine à 10 Å. Cette séparation aboutit à distinguer un pôle illite (si le pic est large jusqu'à son sommet) d'un pôle mica (si ce pic est très fin et sans épaulement). (Latouche *et al.*, 1991). Les pics 003 (4,7 Å) des chlorites sont parfois bien individualisés et caractérisent des chlorites à structure ordonnée (Chamley, 1971).

RÉSULTATS

Les cortèges argileux du substrat (delta de l'Orénoque et golfe de Paria)

Sur le delta, le substrat est essentiellement vaseux, parfois sableux (St. 6-7-11). Le cortège argileux est caractérisé

(tab. 2 a) par des illites dominantes ($X = 43,3\%$), des kaolinites ($X = 27,1\%$), des chlorites ($X = 16,3\%$) et des smectites en plus faibles teneurs ($X = 13,4\%$).

Tableau 2

Répartition des principaux minéraux argileux dans les dépôts (a) du delta de L'Orénoque et (b) du golfe de Paria

Clay mineralogy of deposits in (a) the Orinoco delta and (b) the Gulf of Paria.

(a)

Stations	1	2	3	4	5	8	9	10	Md
min. argileux									
Sm	22	12	12	9	11	10	15	16	13,4
I	37	47	39	46	43	47	42	45	43,2
K	26	25	32	27	28	29	27	23	27,1
Cl	16	17	16	17	18	14	16	17	16,3
I/Sm	1,7	3,9	3,2	5,1	3,9	4,7	2,8	2,8	3,5

(b)

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Md
min. argileux												
Sm	35	35	36	31	21	14	36	32	51	21	27	30,8
I	21	18	21	24	36	31	20	19	16	30	31	24,2
K	32	30	33	30	28	32	31	39	23	35	30	31,2
Cl	12	17	10	15	14	23	13	10	10	14	11	13,8
I/Sm	0,6	0,5	0,6	0,8	1,7	2,2	0,55	0,6	0,3	1,4	1,1	0,94

Dans le golfe de Paria, où le substrat limoneux et argileux est dominant, les phases argileuses montrent (tab. 2 b) des teneurs en illite maximales comprises entre 30 et 36 % dans des zones côtières situées entre l'embouchure du caño Manamo et le río San Juan (figs. 2, 5). Partout ailleurs le cortège à smectites est largement dominant (toujours supérieur à 30 % et atteignant 51 % dans les sables de la Station 9 située au Sud de la péninsule de Paria).

Ainsi, les cortèges argileux des substrats du delta de l'Orénoque et ceux de la zone occidentale du golfe de Paria limitrophes du delta sont riches en illite ; le reste du golfe est caractérisé par l'abondance des smectites.

Les cortèges argileux des suspensions (delta de l'Orénoque)

Les quatre minéraux argileux (illite, chlorite, smectite et kaolinite) sont toujours présents et l'illite est toujours dominante. Selon les saisons, les proportions des différentes espèces varient (tab. 3) :

- durant la période sèche (tab. 3) (février) les teneurs en illites sont minimales (moyenne 41 %) et les smectites et les kaolinites sont assez bien représentées (moyenne : 14 et 27 % respectivement). Durant cette période le rapport I/Sm est minimal (2,8 en moyenne) et s'apparente à celui rencontré dans les dépôts du substrat (I/Sm = 3,5) (tab. 2).
- durant la saison des pluies (août) et plus encore à la fin de cette saison (octobre), l'illite devient de plus en

Tableau 3

Répartition des principaux minéraux argileux dans les suspensions du delta de l'Orénoque.

Clay mineralogy of suspended matter in the Orinoco delta.

(a) février : saison sèche

Stations min. argileux	1	2	3	4	6	7	9	10	Md
Sm	13	15	13	17	12	13	14	22	14,1 (13-22)
I	37	39	39	39	51	48	34	29	36,1* (29-39) 41,4 49,5** (48-51)
K	28	31	31	24	21	23	31	25	26,7 (21-31)
Cl	22	16	17	20	16	16	21	23	18,8 (16-23)
I/Sm	2,85	2,6	3	2,3	4,25	3,7	2,4	1,3	2,8

* st 1-2-3-4-9-10

** st 6-7

*** st 5 réflexion trop faible

(b) août : saison des pluies

Stations min. argileux	1	4	5	6	7	9	10	11	Md
Sm	11	10	11	11	9	12	11	9	10,8 (9-14)
I	46	50	42	45	53	48	48	53	48,1 (42-53)
K	22	23	26	24	23	20	21	25	23 (20-26)
Cl	21	17	21	21	16	20	17	13	18,2 (13-21)
I/Sm	4,2	5	3,8	4,1	5,9	4	3,4	5,9	5,03

(c) octobre : fin de la saison des pluies

Stations min. argileux	1	2	3	4	6	7	9	10	Md
Sm	8	12	15	7	9	13	15	15	11,7 (7-15)
I	54	54	44	54	55	44	46	44	49,3 (44-55)
K	20	21	20	22	20	26	28	24	22,6 (20-28)
Cl	18	14	21	18	16	17	11	17	16,5 (11-21)
I/Sm	6,75	4,5	2,9	7,7	6,1	3,4	3,1	2,9	4,6

plus dominante (moyenne 48 à 49 %); la smectite (11 %) et la kaolinite (23 %) décroissent sensiblement. Le rapport I/Sm s'élève à 5 environ. Les illites sont principalement de type mica. Elles sont accompagnées de chlorite à structure moins bien ordonnée.

Par rapport à ces variations saisonnières, les variations de cortèges argileux apparaissent beaucoup moins bien organisées dans l'espace. On notera cependant une tendance à une plus grande abondance d'illite de type mica et chlorite bien individualisée dans la partie orientale du delta (entre le caño Manamo et le Rio Grande) pendant la saison des pluies.

Pour apprécier les variations des phases argileuses dans les suspensions et les substrats nous avons aussi utilisé le rapport I/Sm dont les valeurs sont très variables : fortes dans les suspensions du delta en saison des crues (5,03 en août; 4,6 en octobre), faibles en février (2,8) (tab. 3, 5). Des valeurs moyennes (3,5) caractérisent les dépôts du delta (tab. 2 a, 5); elles sont très faibles dans les dépôts du Golfe de Paria (0,94) (tab. 2 b, 5).

DISCUSSION

Origine du matériel argileux

Il est bien connu que les apports particuliers du continent Sud-américain à l'océan proviennent en grande partie des Andes. Cette contribution est attestée par un grand nombre d'observations concernant l'ensemble de la chaîne : Andes boliviennes (bassin du Madeira *via* l'Atlantique par l'Amazone; Guyot, 1992), Andes colombiennes (bassin de l'Atrato *via* la mer des Caraïbes par le golfe de Darien; Pujos et Javelaud, 1991) - bassins du Patia et du Mira vers le Pacifique; Pujos *et al.*, 1995 - bassin de l'Orénoque *via* l'Atlantique et les Caraïbes; Lewis et Saunders, 1989; Meade *et al.*, 1990).

Les particules fines constituent la part prépondérante de ces apports dans la sédimentation actuelle, deltaïque ou côtière (Pujos *et al.*, 1989).

Les cortèges argileux d'origine andine sont caractérisés par la présence toujours majoritaire d'illite et de chlorite (Pujos *et al.*, 1996). Des études antérieures (Pujos *et al.*, 1995) ont fait état de teneurs pouvant dépasser 90 %, par exemple sur la côte Pacifique, où de courtes distances séparent la chaîne du bassin de réception océanique exempt de mélange.

Dans le delta de l'Orénoque, les suspensions ont un caractère andin reconnu par la prédominance des illites. Des variations saisonnières apparaissent avec un accroissement des teneurs en illite en saison des pluies, concomitant à de plus faibles teneurs en smectite (tab. 4). Les valeurs du rapport I/Sm illustrent ce phénomène (fig. 5) : elles sont maximales en août (5,03), fortes en octobre (4,6); elles sont faibles en février (2,8) de par la diminution des illites et l'augmentation des smectites.

Ainsi, les flux de MES issus des Andes colombiennes, à fortes teneurs en illite, sont véhiculés par les affluents de la rive gauche de l'Orénoque et ils aboutissent dans le delta préférentiellement lors des forts débits liquides du fleuve. Ce flux orénoquien s'oppose au flux amazonien qui s'étale au large du delta (Muller-Karger et Varela, 1989-1990). De ce fait, se pose la question de savoir si, comme c'est le cas pour les estuaires guyanais, les apports distaux de l'Amazone pénètrent dans la zone du

Tableau 4

Valeurs de rapports kaolinite/Illite et (kaolinite + Illite + Chlorite) / smectite dans (a) les suspensions et les dépôts du delta de l'Orénoque et (b) les dépôts du golfe de Paria.

Characteristics of K/I and $R1 = (K + I + Cl)/Sm$ in (a) suspended matter and deposits (Orinoco delta) and (b) deposits (Gulf of Paria).

(a)

Station	K/I				(KI + I + Cl)/Sm			
	février	août	octobre	Substrat	février	août	octobre	Substrat
1	0,7	0,47	0,37	0,7	6,7	8	11,5	3,5
2	0,79		0,38	0,53	5,6		7,3	5,2
3	0,79		0,45	0,8	5,2		6,1	4,9
4	0,61	0,46	0,4	0,58	4,8	9	13,3	10,1
5		0,61		0,65		8,1		8,1
6	0,41	0,53	0,36		7,3	8,1	10,1	
7	0,47	0,43	0,59	0,6	6,7	10,1	6,7	
8				0,6				9
9	0,91	0,41	0,60	0,64	6,1	7,3	5,6	5,6
10	0,86	0,43	0,54	0,51	3,5	6,1	5,6	5,2
11		0,47				10,1		

(b)

Stations	K/I	(KI + I + Cl)/Sm
1	1,5	1,85
2	1,7	1,85
3	1,6	1,8
4	1,25	2,2
5	0,8	3,8
6	1	6,1
7	1,55	1,8
8	2,05	2,1
9	1,4	1
10	1,7	3,8
11	1	2,7

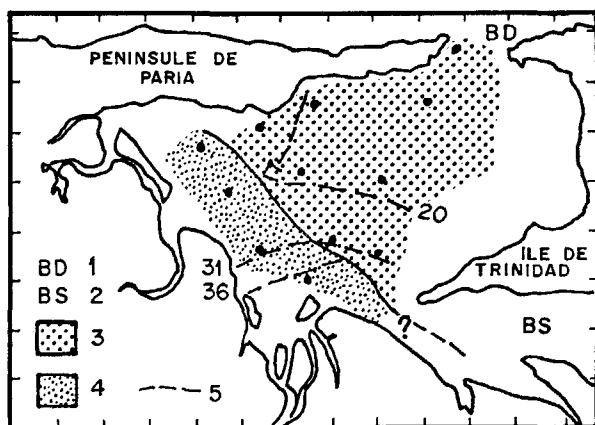


Figure 5

Répartition des illites dans le golfe de Paria. 1) Bouches du Dragon ; 2) Bouches du Serpent ; 3) 18% < I < 24% Md = 19,8% ; 4) 30% < I < 36% Md = 32% ; 5) lignes d'isorepartition des illites.

Distributions of illites in the Gulf of Paria. 1. Bouches du Dragon ; 2. Bouches du Serpent ; 3. 18% < I < 24% Md = 19,8% ; 4. 30% < I < 36% Md = 32%. 5. illite isolines.

delta. L'Amazone ne possède pas de marqueur spécifique tandis que l'Orénoque, selon Eisma *et al.* (1978) et Bowles

et Fleischer (1985), serait caractérisé par la présence de gibbsite et de pyrophyllite. Dans cette étude des traces de pyrophyllite ont été détectées dans la fraction inférieure à 2 μm . La fraction supérieure à 2 μm , en quantité insuffisante, n'a pas permis la recherche de ce minéral (fraction dans laquelle ces auteurs l'ont décrite). Nous avons donc tenté d'apprécier l'influence respective de chacun d'eux par l'étude des rapports I/Sm et K/I auxquels nous avons ajouté $R1 = [(K + Cl) \% + I \%] / Sm\%$. Ce dernier rapport utilisé par Porrenga (1967) puis par Eisma *et al.* (1978) prend des valeurs différentes dans le delta (1,8 à 2,7) et le fleuve Orénoque (~ 6).

Rapports R1, K/I et I/Sm dans le delta

En saison sèche (février) (tab. 4, 5), $R1 = 5,7$ sur la plus grande partie du delta. Deux valeurs très inférieures à cette moyenne sont localisées en aval du delta tant au Nord ($R1 = 3,5$) qu'à l'Est ($R1 = 4,8$). K/I est généralement fort ($=0,77$) à l'exception des stations 6 et 7 ($=0,44$) situées en amont (caños Araguao et Manamo).

Sur l'ensemble du delta les valeurs de R1 sont identiques à celles citées par Eisma *et al.* (1978) pour le fleuve Orénoque

(~ 6). Au contraire, près des embouchures ($R1 = 3,5$ à $4,8$) ces valeurs sont plus proches de celles des dépôts vaseux d'origine amazonienne ($R1 = 2,8$ en Guyane française; Pujos *et al.*, 1996 - $R1 = 2,1$ au Surinam; Pujos et Pascual, 1992). Les valeurs de I/Sm sont faibles ($2,8$).

Les valeurs de K/I dans la plupart des stations du delta ($X = 0,77$) sont proches de celles des dépôts d'origine amazonienne ($0,84$ en Guyane française; $0,83$ au Surinam) à l'exception des stations 6 et 7 ($X = 0,44$) proches de l'apex du delta.

Ainsi en saison sèche, période de faibles débits liquides et de faibles flux en MES d'origine orénoquienne (fig. 3), les suspensions amazoniennes envahissent le delta à partir des embouchures de l'Est (Atlantique) et du Nord (golfe de Paria) où elles se mélangent au flux de l'Orénoque. Cette pénétration paraît plus importante dans le Rio Grande (Station 1) où elle atteindrait Barrancas (fig. 6 a).

En saison des pluies (août) (tab. 4, 5) les valeurs de $R1 = 8,35$, $K/I = 0,47$ et $I/Sm = 5,03$ sont homogènes sur tout le delta et très éloignées de celles reconnues dans les vases amazoniennes déposées dans les Guyanes ($R1 = 2,1$ à $2,18$; $K/I = 0,83-0,84$; $I/Sm = 0,91-1,26$).

En cette période des plus forts débits liquides (Fig. 3) les eaux de l'Orénoque envahissent le delta (fig. 6 b) et s'étalent au large provoquant un bloom phytoplanctonique près de l'île de Tobago, en relation directe avec la décharge des eaux du fleuve (Muller-Karger et Varela, 1989-1990; Muller-Karger et Castro, 1994). Pour ces auteurs l'influence de l'Amazonie à cette saison est considérée comme un « facteur secondaire ».

A la fin de la saison des pluies (octobre) (tab. 4, 5) $R1$ et K/I varient : à l'Est, des valeurs de $R1$ fortes ($10,6$), de K/I faibles ($0,37$) et de I/Sm fortes ($6,26$) couvrent la région comprise entre le Rio Grande et le caño Araguao (St. 1, 2, 4, 6). Sur le reste du delta $R1 (= 5,9)$ est proche des valeurs du fleuve Orénoque alors que $K/I (0,57)$ a une valeur moyenne (St. 7, 9, 10). Les valeurs du rapport $I/Sm (3,13)$ confirment cette répartition géographique.

En cette période de l'année où le débit liquide diminue mais où le flux en MES est maximal, les valeurs de $R1$, K/I et I/Sm restent éloignées de celles rencontrées au large des Guyanes (tab. 5) montrant la faible influence

du système dispersif de l'Amazonie sur le delta. De plus, les très fortes valeurs de $R1$ et I/Sm et les faibles valeurs de K/I enregistrées à l'Est attestent que le flux principal des suspensions de l'Orénoque transite par cette région du Rio Grande et du caño Araguao (fig. 6 c). En mer le bloom phytoplanctonique est encore très bien individualisé tout comme la réflexion vers l'Est des eaux de l'Amazonie (Muller-Karger *et al.*, 1988; Muller-Karger et Varela, 1989-1990).

En résumé, a) en saison des pluies, les eaux de l'Orénoque s'étalent sur tout le delta repoussant les eaux de l'Amazonie plus au large. Lorsque le débit liquide est maximal la dispersion des suspensions est homogène (fig. 6 b). Lorsque le débit liquide diminue et que les teneurs en MES sont maximales, le flux principal s'oriente préférentiellement à l'Est dans la région du Rio Grande - caño Araguao (fig. 6 c). b) en saison sèche le cortège moyen des dépôts du delta (tab. 2) s'apparente à celui reconnu dans le flux de MES (tab. 3). A cette époque, les décharges liquide et solide de l'Orénoque (fig. 3, tab. 1) sont minimales, celles de l'Amazonie en légère augmentation après les minima de novembre-décembre (Meade *et al.*, 1979; Muller-Karger et Varela, 1989-1990). Les valeurs reconnues dans le substrat, $R1 (6,45)$, $K/I (0,62)$ et $I/Sm (3,5)$ sont en moyenne comprises entre celles de l'Orénoque ($R1 = 8,3$; $K/I = 0,5$; $I/Sm = 4$) et celles des vases d'origine amazonienne au large des Guyanes ($R1 = 2,5$; $K/I = 0,8$; $I/Sm = 1$; tab. 5). Durant cette période, les flux des deux fleuves se mélangent.

Le matériel argileux dans le golfe de Paria

Les suspensions des deux fleuves sédimentent en partie dans le golfe de Paria où elles constituent de grandes étendues de dépôts vaseux (fig. 4) riches en illite (voir plus haut), les teneurs en illites augmentant fortement à l'embouchure du caño Manamo et dans sa proximité occidentale (tab. 2, fig. 5). Dans cette région (St. 4, 5, 6 et à un degré moindre 10 et 11) $R1 = 3,72$, valeur éloignée de la moyenne du golfe ($2,63$) (tab. 4, 5) : les fortes valeurs de $R1$, intermédiaires entre celles reconnues dans le delta ($R1 = 5,7$ à $8,2$) et le prisme amazonien des Guyanes ($R1 = 2,1$ à $2,18$), confirment l'extension, dans

Tableau 5

Valeurs moyennes des rapports I/Sm , K/I et $R1$ sur le delta de l'Orénoque, le golfe de Paria et le prisme amazonien des Guyanes.

Mean values for I/S , K/I and $R1$ for the Orinoco delta, the Gulf of Paria and the Amazon muds on the Guianas shelf.

	Delta de l'Orénoque				Golfe de Paria	Prisme dispersif amazonien	
	Suspensions		Substrat	Substrat	substrat		
	février	août	octobre		Guyane française (1)	Surinam (2)	
I/Sm	2,8	5,03	4,6	3,5	0,94	1,26	0,91
K/I	0,69	0,47	0,46	0,62	1,41	0,84	0,83
$R_1 = \frac{k+I+C'}{S_{m}}$	5,7	8,35	8,27	6,45	2,63	2,18	2,1

(1) Pujos *et al.* (1996)

(2) Pujos *et al.* (1992)

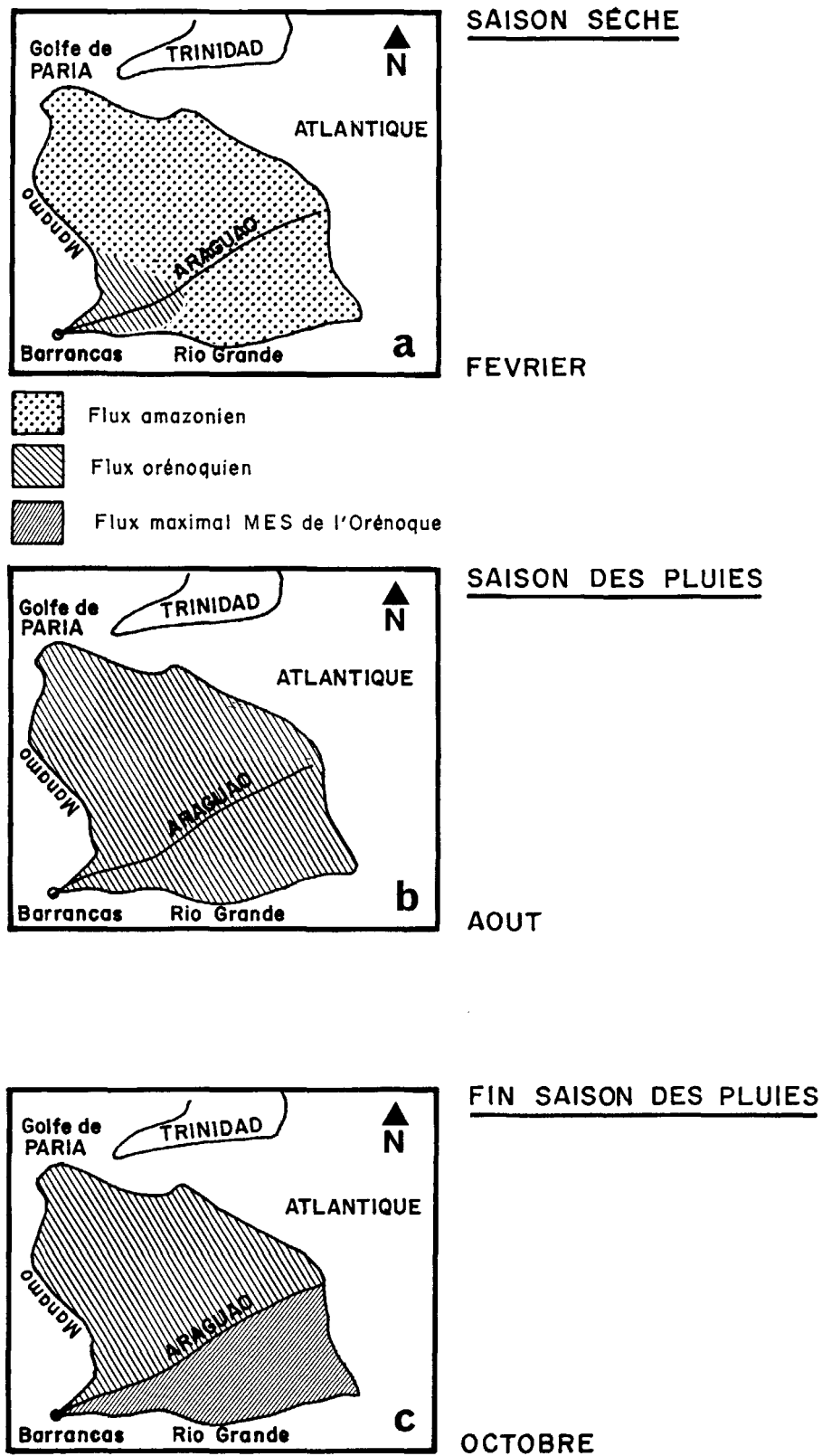


Figure 6

Variations saisonnières des flux de l'Amazone et de l'Orénoque dans le delta, d'après les teneurs en illite.

Seasonal variations in the fluxes of the Amazon and Orinoco rivers according to illite content (Orinoco delta).

cette zone limitrophe, de l'influence encore sensible du flux orénoquien précédemment mis en évidence dans le delta en période des forts débits. Plus au large, $R1 (=2,04)$ proche des valeurs du prisme amazonien des Guyanes ($R1=2,1$

à 2,18) reflète la baisse des teneurs en illite des dépôts et la part grandissante du flux amazonien. Les valeurs du rapport I/Sm dans le golfe de Paria ($=0,94$) confirment cette analyse et témoignent d'une plus forte affinité des vases du

golfe avec celles de l'Amazone ($I/S_m = 0,91 - 1,26$; tab. 5).

La répartition des illites dans le golfe de Paria en saison des forts débits, montre la contribution essentielle du fleuve Orénoque sur son pro-delta. La diminution rapide des teneurs en illite dans les dépôts vers le Nord-Ouest (à la côte) et vers le Nord dans le golfe traduit la dilution des suspensions du fleuve sous l'action des courants (fig. 4) et la prédominance de plus en plus nette des vases amazoniennes au large des bouches du Dragon (Milliman *et al.*, 1982).

Ainsi, l'étude des phases argileuses montre qu'en saison des pluies, d'août à octobre, les suspensions de l'Orénoque qui couvrent tout le delta (cette étude) envahissent le proche Atlantique à l'Est de l'île de Trinidad et une partie de la mer des Caraïbes *via* le golfe de Paria (Muller-Karger et Varela, 1989-1990; Monente, 1989-1990 *a, b*; Monente, 1992). En Atlantique, l'essentiel de ce matériel particulaire provient du principal collecteur du delta, le Rio Grande puis franchit les bouches du Serpent, étroit passage où les vitesses du courant des Guyanes est de 100 cm s^{-1} (Van Andel, 1967) et s'étale dans le golfe de Paria. Une faible partie aboutit directement dans le golfe par la région du caño Manamo. Dans le Nord-Ouest du delta, les petits tributaires qui descendent vers la côte ont un débit liquide et une charge solide insignifiantes (Van Andel, 1967).

Ce matériel orénoquien se mélange à celui de l'Amazone (plus riche en smectite) qui transite le long de la côte Sud-Américaine des Guyanes puis aborde le delta (Eisma et Van der Marel, 1971); Eisma *et al.*, 1991; Pujos et Pascual, 1992). La contribution respective des deux fleuves est mal connue compte tenu de la difficulté à identifier les deux stocks vaseux : Eisma *et al.* (1978), raisonnant sur l'ensemble de la zone de mélange, estiment que les deux fleuves fournissent à parties égales des suspensions

$> 2 \mu\text{m}$, alors que la part de l'Amazone dans la fraction $< 2 \mu\text{m}$ serait quatre fois plus importantes que celle de l'Orénoque.

CONCLUSIONS

Le cortège argileux reconnu dans les suspensions du delta de l'Orénoque provient pour l'essentiel des Andes colombiennes; il est soumis à des variations saisonnières.

Les teneurs en illite, importantes en saison des pluies (août et octobre), sont d'autant plus fortes que l'apport en MES est grand (octobre).

En saison des pluies, la répartition spatiale du flux en illite est homogène sur l'ensemble du delta lorsque le débit liquide est maximal (août); il prédomine à l'Est (du Rio Grande au caño Araguao) quand les teneurs en MES sont maximales et que le débit liquide diminue (octobre). Les fortes décharges, liquide et particulaire, transitent par le delta puis pénètrent et se dispersent en mer des Caraïbes et dans le proche Atlantique.

Le cortège argileux des dépôts deltaïques est comparable à celui des suspensions de saison sèche (février), témoignant d'une sédimentation fine composée de vases d'origine orénoquienne mais aussi amazonienne. En effet, durant cette saison, le système dispersif de l'Amazone s'étend sur la quasi totalité du delta, suggérant l'existence d'une participation allochtone à la sédimentation deltaïque orénoquienne.

Le système dispersif de l'Orénoque, très étendu en saison des pluies, couvre le delta, la plate-forme continentale et le golfe de Paria. Dans ce dernier, les variations spatiales des teneurs en illite montrent que ce minéral s'avère un excellent traceur de la circulation.

RÉFÉRENCES

- Bataillon C., J.P. Deler, H. Thery (1991). Géographie universelle. Amérique latine. Hachette/Reclus éd. sous la direction de R. Brunet, 480 p.
- Bowles F.A., P. Fleischer (1985). Orinoco and Amazon river sediment input to the eastern caribbean basin. *Mar. Geol.* **68**, 53-72.
- Brown G. (1961). The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. London (Mineralogical Society), 544 p.
- Canales H. (1985). La Cobertura Vegetal y el Potencial Forestal del Territorio Federal Delta Amacuro. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, serie de Informes Tecnicos, zona 12 (IT), 270 Maturin.
- Chamley H. (1971). Recherches sur la sédimentation argileuse en Méditerranée. *Mém. Sci. Géol. Strasbourg*, **35**, 210 p.
- Chardon J.P., M. Petit (1978). La basse Guyane vénézuélienne. Un exemple de régionalisation planifiée. *Trav. Doc. Géogr. Trop. De l'Orénoque à l'Amazone*, **34**, 329-367.
- Choubert B. (1974). Le Précambrien des Guyanes. *Mém. BRGM* **81**, 204 p.
- Coleman I. (1976). Deltas: Processes of deposition and models for exploration. Burgess Publ. Comp. 102 p.
- Delft Hydraulics Laboratory (1962). Demerara coastal investigation. Delft Hydraulics Laboratory, 240 p.
- Edmond J., M. Palmer, C. Measures, B. Grant, R. Stallard (1995). The fluvial geochemistry and denudation rate of the guayana shield in Venezuela, Colombia and Brazil. *Geoch. Cosmoch. Acta* **59**, 16, 3301-3326.
- Eisma D., P.G. Augustinus, C. Alexander (1991). Recent and subrecent changes in the dispersal of Amazon mud. *Neth. J. Sea Res.* **28**, 3, 181-192.
- Eisma D., J. Van der Gaast, J.M. Martin, A.J. Thomas (1978). Suspended matter and bottom deposits of the Orinoco delta: turbidity, mineralogy and elementary composition. *Neth. J. Sea Res.* **12**, 2, 224-251.
- Eisma D., H.W. Van der Marel (1971). Marine muds along the guyana coast and their origin from the Amazon basin. *Contr. Mineral Petrol.* **31**, 321-334.
- Gibbs R.J. (1967 a). Amazon river: environmental factors that control its dissolved and suspended load. *Science* **156**, 1734-1737.
- Gibbs R.J. (1967 b). The geochemistry of the Amazon river system. Pt1. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geol. Soc. Am. Bull.* **78**, 1203-1232.

- Guyot J.L.** (1992). Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie brésilienne. Thèse Université, Bordeaux, 362 p.
- Holtzapffel T.** (1985). Les minéraux argileux, préparations, analyses diffractométriques et détermination. *Soc. Géol. Nord* 12, 136 p.
- Instituto A. Codazzi** (1989). Atlas basico de Colombia. Division de difusion geografica, 446 p.
- Latouche Cl., J.M. Jouanneau, Y. Lapaquellerie, N. Maillet, O. Weber** (1991). Répartition des minéraux argileux sur le plateau continental sud-gascogne. *Oceanologica Acta* Proceedings of the International Colloquium on the environment of epicontinental seas, Lille 20-22 mars 1990, vol. SP 11, 155-161.
- Lewis W.M., S. Hamilton, S. Jones, D. Runnells** (1987). Major element chemistry, weathering and element yields for the Caura river drainage, Venezuela. *Biogeochemistry* 4, 159-181.
- Lewis W.M., J.F. Saunders** (1989). Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. *Biogeochemistry* 7, 203-240.
- Llano M.** (1992). El golfo de Paria: areas marinas y submarinas. Estudio preparado para Lagoven S.A. Caracas, 137 p.
- Meade R., C.F. Nordin, W.F. Curtis, F.M.C. Rodriguez, C.M. Do Vale, J.M. Edmond** (1979). Sediments load in the Amazon river. *Nature* 278, 161-163.
- Meade R., C. Nordin, D. Perez-Hernandez, A. Mejia, J. Perez-Godoy** (1983). Sediment and water discharge in Rio Orinoco, Venezuela and Colombia. Proceedings of the second international symposium on River sedimentation. Nanjing China, Water resources and electric Power Press, Beijing, 1134-1144.
- Meade R., F. Weisebahn, W. Lewis, D. Perez-Hernandez** (1990). Suspended-sediment budget for the Orinoco River. El Rio Orinoco como ecosistema/The Orinoco River as an Ecosystem, GALAC ed. Caracas, 55-80.
- Milliman J., J. Butenko, J. Barbot, J. Hedberg** (1982). Depositional patterns of modern Orinoco/Amazon muds on the northern Venezuela shelf. *J. Mar. Res.* 40, 3, 643-657.
- Monete J.A.** (1989-1990 a). Materia en suspension transportada por el rio Orinoco. Memoria de la Sociedad de Ciencias naturales La Salle, IL, 131-132 et L. 133-134, 5-13.
- Monete J.A.** (1989-1990 b). Influencia del rio Orinoco en el Caribe. Materia en suspension. Memoria de la Sociedad de Ciencias naturales La Salle, IL, 131- 132 et L. 133-134, 347-360.
- Monete J.A.** (1992). Contribucion del rio Orinoco a la formacion de las aguas superficiales del Caribe. *Interciencia* 17, 2, 105-111.
- Muller-Karger F., R.A. Castro** (1994). Mesoscale processes affecting phytoplankton abundance in the Southern Caribbean sea. *Cont. Shelf Res.* 14, 2/3, 199-221.
- Muller-Karger F., C. McClain, P. Richardson** (1988). The dispersal of the Amazon's water. *Nature* 333, 56-59.
- Muller-Karger F., R. Varela** (1989-1990). Inlujo del rio Orinoco en el mar Caribe: observaciones con el CZCS desde el espacio. Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, IL, 131-132 et L. 133-134, 186, 361-390.
- Nedeco** (1968). Suriname transportation study: report on hydraulic investigation. The Hague, Netherlands, Engr. Consultants, 293 p.
- Petit M.** (1978). Géomorphologie, géochimie et géotectonique des granites précambriens. L'érosion différentielle dans les aires granitiques tropicales : application aux domaines américain et africain. *Trav. Doc. Géogr. Trop.* De l'Orénoque à l'Amazonie, 34, 9-37.
- Porrenga D.** (1967). Clay mineralogy and geochemistry of recent marine sediments in tropical areas. Pub. Fysisch-Geografisch Lab., Univ. Amsterdam, 9, 1-145.
- Pujos M., C. Bobier, M. Chagnaud, C. Fourcassies, J.M. Froidefond, D. Gouleau, P. Guillaume, J.M. Jouanneau, M. Parra, J.C. Pons, A. Pujos, A. de Resseguier, C. Viguier** (1989). Les caractères de la sédimentation fine sur le littoral de la Guyane française (région de Cayenne) : nature, origine et périodicité de l'envasement. Rapport CORDET, 87001/88310, 77 p.
- Pujos M., R. Griboulard, Cl. Latouche, P. Meidinger** (1995). Analyse morpho-tectonique et caractères de la sédimentation au Quaternaire récent sur la plate-forme continentale pacifique de la Colombie. *Oceanologica Acta* 18, 1, 1-18.
- Pujos M., O. Javelaud** (1991). Depositional facies of a mud shelf between the Sinu river and the Darien gulf (Caribbean coast of Colombia): environmental factors that control its sedimentation and origin of deposits. *Cont. Shelf Res.* 11, 7, 601-623.
- Pujos M. Cl. Latouche, N. Maillet** (1996). Late quaternary paleoceanography of the French Guiana continental shelf: clay-mineral evidence. *Oceanologica Acta* 19, 5, 477-487.
- Pujos M., G.S. Odin** (1986). La sédimentation au Quaternaire terminal sur la plate-forme continentale de la Guyane française. *Oceanologica Acta* 9, 4, 363-382.
- Pujos M., A. Pascual** (1992). Los paleoambientes costeros de la plata-forma continental de Guyana y Surinam en el cuaternario terminal. VIII Congreso latino-americano de Geología, Salamanca, 2, 161-165.
- Stalcup M.C., W.G. Metcalf** (1972). Current measurements in the passages of the lesser Antilles. *J. Geophys. Res.* 77, 1032-1049.
- Stallard R.F.** (1985). River chemistry, geology, geomorphology and soils in the Amazon and Orinoco basins. The Chemistry of weathering (Ed. J.I. Drever), NATO ASI Series Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland, 293-317.
- Thorez J.** (1975). Phyllosilicates and clay minerals. A laboratory Handbook for their X-ray analysis. Dison, Belgique (Lelotte ed.), 90 p.
- Van Andel T. H.** (1967). The Orinoco delta. *J. Sedim. Petrol.* 37, 2, 297-310.
- Van Andel T., P. Sachs** (1964). Sedimentation in the gulf of Paria during the Holocene transgression; a subsurface acoustic reflection study. *J. Mar. Res.* 22, 1, 30-51.
- Van Der Hammen** (1968). Climatic and vegetational succession in the Equatorial Andes of Colombia. In Colloquium Geographicum, Bonn., 9, 187-194.
- Vasquez E., W. Wilbert** (1992). The Orinoco: Physical, biological and cultural diversity of a major tropical alluvial river. In the Rivers handbook. Hydrological and ecological principles. P. Calow, G. Petts eds. Blackwell, 21, 448-471.
- Weibezahn F.** (1990). Hydroquímica y solidos suspendidos en el alto y medio Orinoco. El Rio Orinoco como ecosistema/The Orinoco River as an ecosystem, Galac ed. Caracas, 151-210.
- Zink A.** (1982). Rios de Venezuela. Cuadernos Lagoven, Cromotip, Caracas, 63 p.