

Analyse morpho-tectonique et caractères de la sédimentation au Quaternaire récent sur la plate-forme continentale Pacifique de la Colombie

Pacifique
Colombie
Plate-forme continentale
Dépôts quaternaires

Pacific
Colombia
Continental shelf
Quaternary sediments

Michel PUJOS, Roger GRIBOULARD, Claude LATOUCHE et Patrick MEIDINGER

Département de Géologie et Océanographie, URA CNRS 197, Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

Reçu le 6/10/94, révisé le 13/01/95, accepté le 13/01/95.

RÉSUMÉ

La sédimentation épicontinentale de la Colombie Pacifique s'installe sur une marge active. La plate-forme continentale y est très étroite et très pentue au Nord, plus étendue au Sud, influencée par une organisation structurale liée aux structures andines.

Cette région est essentiellement couverte de dépôts terrigènes : vases et sables actuels (sur la plate-forme interne) et reliques (sur la plate-forme externe), reflets des apports fluviaux d'un arrière-pays andin où, seul, le couvert végétal est en mesure de limiter une intense érosion.

Les argiles composent l'essentiel de la fraction fine qui se déverse à l'océan. Trois cortèges minéralogiques témoignent de leur origine : andine (illite-chlorite), conséquence de la proximité de la Cordillère, méso-américaine (smectites) qui alimente la marge nord Pacifique par l'intermédiaire du contre-courant du Choco, équatorienne (smectites) qui se manifeste à l'extrême sud sous l'action du courant de Colombie.

ABSTRACT

Epicontinental sedimentation on the Pacific side of Colombia takes place on an active margin.

The continental shelf is very narrow and steep to the north, and broader to the South. This shelf is structurally influenced by the Andes.

This area is mainly covered with terrigenous deposits, *i.e.* muds and sands which are recent on the internal shelf and relict on the external shelf. The sediments, supplied by rivers, reflect the intense erosion of the Andean backland. This erosion can only be reduced *in situ* by the vegetation cover.

Clays are the main component of the fine fraction reaching the sea. Three different clay assemblages are observed: 1) an Andean (illite-chlorite) assemblage, reflecting the proximity of the cordillera; 2) a mid-American assemblage (smectite), which supplies the North Pacific Margin through the Choco counter-current; 3) an Equatorial assemblage (smectites) which is brought to the South by the Colombian current.

Oceanologica Acta, 1995, 18, 1, 1-18

La sédimentation épicontinentale en pays tropical est en général réglée par l'alternance de deux phases bien différenciées : l'une terrigène, l'autre biogène. Cette dualité est particulièrement évidente à proximité de grands fleuves dont les mécanismes de distribution de la charge solide varient périodiquement en fonction des oscillations majeures du niveau de la mer, liées aux fluctuations climatiques. C'est ainsi qu'en Guyane (Pujos *et al.*, 1986) ou en Colombie Caraïbe (Pujos *et al.*, 1991) les hauts niveaux marins provoquent en bordure du littoral le dépôt d'importantes quantités de pélites d'origine fluviale alors que les bas niveaux marins sont caractérisés par des faciès reliques autochtones : sables terrigènes et complexes bio-récifaux.

La façade Pacifique de la Colombie s'étend en pays inter-tropical ; la sédimentation qui se développe sur cette plateforme largement ouverte aux influences océaniques, s'installe sur une marge active, partie de la ceinture orogénique circum-Pacifique. L'arrière-pays dominé par la chaîne des Andes est soumis à un climat équatorial extrêmement pluvieux.

Les résultats de travaux pionniers, initiés en 1985 par les autorités colombiennes, portent sur la cartographie et la morphologie des fonds océaniques montrant l'existence d'une plate-forme accidentée, ainsi que sur la reconnaissance des dépôts de surface où les accumulations sédimentaires liées aux embouchures jouent un rôle primordial (Meidinger, 1987 ; Mirmand, 1988 ; Molina *et al.*, 1992).

Ces premières observations nous ont incités à développer plus avant nos recherches sur la sédimentogenèse liée à la fois aux apports de la cordillère des Andes toute proche, aux fortes précipitations et érosions et à l'activité tectonique qui confèrent à ce modèle toute son originalité.

Parmi les points essentiels que nous aborderons, citons :

- les développements morphologiques de la surface topographique affectant ou conduisant l'évolution sédimentaire,
- la caractérisation et la cartographie des faciès sédimentaires de la couverture superficielle,
- les relations sédimentaires existant entre la plate-forme et l'arrière-pays (en particulier l'origine du matériel argileux),
- les modalités de mise en place des différentes formations reconnues ainsi que la dynamique qui les a affectées.

CADRE GÉODYNAMIQUE

La Colombie, située à l'extrémité nord-occidentale du continent sud-américain, couvre près de 1 million de km². Ce pays s'organise à partir de trois importantes chaînes andines d'orientation générale sub-méridienne : les Cordillères Orientale, Centrale et Occidentale en constituent l'ossature principale (fig.1). La grande diversité des milieux naturels est liée à l'existence de ces forts reliefs qui culminent à plus de 5 000 m.

La Colombie Pacifique objet de cette étude possède une façade maritime longue de 1 300 km, constituée par trois provinces physiographiques :

- La cordillère Occidentale d'orientation générale NNE-SSW, dont les altitudes moyennes se situent entre 3 000 et 4 000 m,

- Les bassins de l'Atrato-San Juan au Nord et la plaine côtière Pacifique au Sud (Baie de Buenaventura, bassins du Patia et du Mira) qui correspondent à une dépression structurale s'étendant depuis l'embouchure du Rio Atrato dans le Golfe de Darien (ou d'Uraba) jusqu'en Equateur,

- Les chaînons côtiers de Baudo (point culminant : 1 800 m) et Darien.

Cadre géodynamique, structure et conséquences morpho-sédimentaires.

La Colombie occupe une situation géographique originale, lieu de convergence de cinq plaques lithosphériques (fig. 2) : les plaques Cocos, Nazca, Caraïbe, Sud-américaine et la miniplaque continentale dénommée « Bloc Andin ».

Il s'agit d'une limite active de plaques caractérisée par une subduction oblique de la plaque Nazca sous le Bloc Andin. Une fosse importante se développe à ce niveau : la fosse Équateur-Colombie (Pennington, 1981). La formation des Andes colombiennes résulte d'une succession d'épisodes de subduction et d'accrétion depuis le Paléozoïque inférieur jusqu'au cycle orogénique andin encore actif de nos jours (Murcia, 1981). Ceci entraîne l'existence d'une tectonique active qui exerce sur l'évolution morphologique régionale une grande influence. Cette néotectonique se manifeste par :

- un volcanisme puissant qui se traduit par d'importants dépôts de cendres dans une séquence post-glaciaire holo-

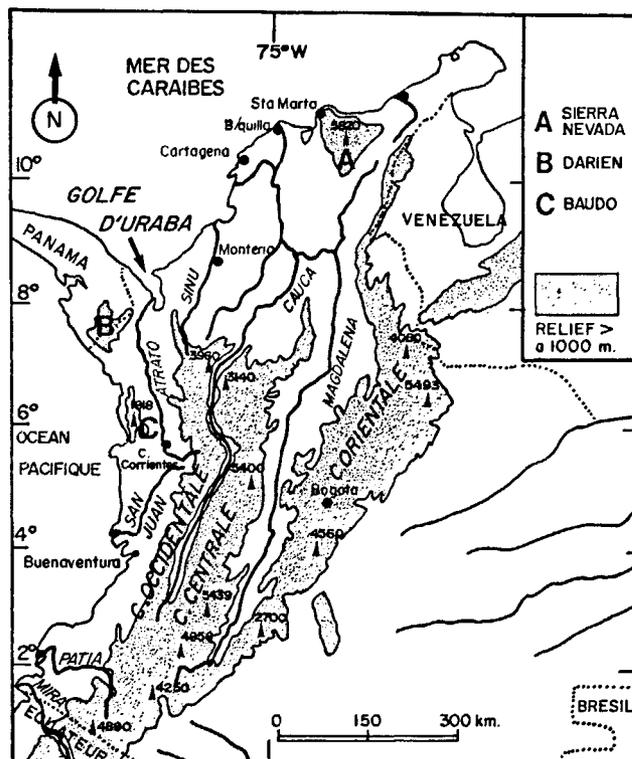


Figure 1

Cadre géographique de la Colombie.
Geographical setting of Colombia.

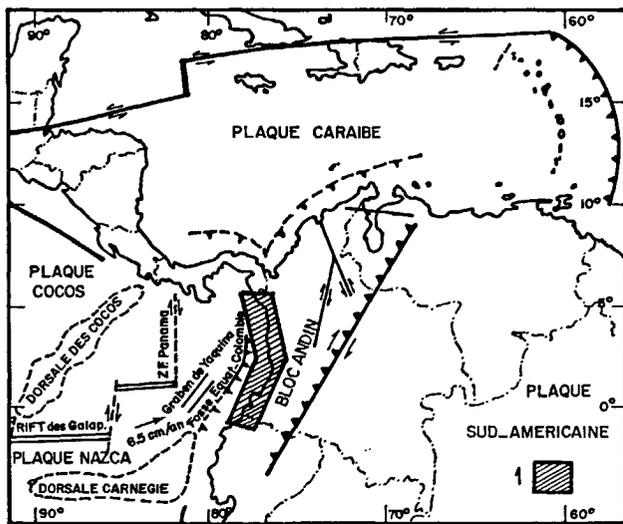


Figure 2

Cadre géodynamique du domaine Caraïbe. 1. Zone d'étude.

General geodynamical setting of the Caribbean domain. 1. Studied area.

cène de la Cordillère Centrale (Murcia, 1982 ; Thouret et Van der Hammen, 1981),

– **une sismicité importante** aux effets secondaires dévastateurs (érosion littorale, subsidence généralisée de la région côtière,...),

– **un système de failles actives** qui affectent aussi bien de nombreux paléosols que des terrasses fluviatiles provoquant localement des basculements de blocs. Tel est le cas de la faille Remolino-El Charcot dont le rejeu récent est responsable de la migration vers le Sud du delta du Patia.

La Cordillère occidentale est constituée de formations d'âge crétacé d'origine marine se subdivisant en deux unités. L'unité inférieure est constituée de roches sédimentaires métamorphisées alors que l'unité supérieure est essentiellement volcanique avec quelques intercalations sédimentaires. Résultat du volcanisme calco-alcalin issu de la subduction dès l'Eocène, un plutonisme quartzo-dioritique affecte le flanc Ouest de la cordillère. Il se poursuivra par la mise en place de laves andésitiques témoignant de l'activité volcanique moderne.

Des dépôts marins éocènes et oligocènes puis continentaux mio-pliocènes s'accumulent depuis le Cénozoïque au pied de la Cordillère. Ce sont, pour les premiers, des calcaires intercalés dans des formations argilo-gréseuses et, pour les seconds, des conglomérats et argiles à débris végétaux.

De la frontière nord à Cap Corrientes, les formations de la Serrania de Baudo jouxtent le littoral alors que la plaine côtière du Sud est constituée de dépôts alluviaux sablo-vaseux récents du bassin de San-Juan-Patia-Mira.

Morphologie de la plate-forme continentale.

La marge Pacifique colombienne, plate-forme tropicale alluviale (Vannoy, 1977), est peu connue. Les recherches de Mirmand (1988) et Meidinger (1991) ont cependant largement contribué à une première approche de cet environnement.

Des cartes bathymétriques ont été dressées de la frontière panaméenne au Nord à la frontière équatorienne au Sud, entre 7°30' et 1° de latitude Nord. Ce document (fig. 3) a été établi à partir de la compilation de données anciennes, complété par des informations obtenues au cours de différentes missions océanographiques colombiennes (Pacífico-Erfen V, 1986 ; Pacífico-Erfen VI, 1987).

La plate-forme est étroite : sa largeur est minimale en ses deux extrémités (4,5 km) et maximale au droit de la baie de Buenaventura (40 km). Elle doit être considérée comme relativement large parmi les plate-formes bordières des zones orogéniques jeunes, dont l'amplitude moyenne est de l'ordre de 8,5 km. Les pentes y sont généralement très fortes avec des valeurs de 0,25 à 5 %.

De part et d'autre du delta du San Juan, on distingue :

– *la plate-forme septentrionale*, très étroite, dont la largeur ne dépasse pas 15 km (fig. 4, profils 1 à 6) sauf au Nord de Cupica où un important secteur en subsidence tectonique, prolongement possible d'une structure en graben en domaine continental (Mirmand, 1988) élargit la plate-forme en même temps qu'il augmente la profondeur de l'accore (fig. 4, profil 2). La plate-forme interne s'élargit à nouveau au Sud du Cap Corrientes qui constitue la limite entre les formations de l'arc volcanique de Baudo au Nord et les épandages sédimentaires récents de la plaine côtière au Sud. Sur le profil 4, les anisotropies observables sur la pente continentale pourraient être dues à la poursuite, en domaine océanique, des structures de la Serrania de Baudo. La valeur moyenne de l'immersion distale de la plate-forme se situe aux alentours de 120/130 m, valeur moyenne de l'ensemble des plate-formes continentales mondiales (Shepard, 1973).

– *la plate-forme méridionale* présente trois unités morphologiques au Sud de la baie de Buenaventura :

L'unité septentrionale s'étend entre 4° et 2°45' Nord dans une région où la plate-forme a son extension maximale (supérieure à 40 km), la profondeur moyenne de l'accore se situant aux alentours de 100 m. Sur les profils bathymétriques, vers -50 m, apparaît un point d'inflexion (traces d'un stationnement du niveau marin ?) qui délimite deux zones, l'une interne convexe, l'autre externe concave (fig. 4, P7 à P9). Sur l'accore se développe une crête orientée NNE-SSW dont l'émergence correspond à l'île Gorgona (fig. 4, P9). Cet élément, allongé parallèlement au littoral, est limité sur ses flancs par des pentes très fortes, dont les valeurs dépassent localement 15 %. En position interne, une petite dépression borde cette édifice.

L'unité centrale, plus étroite (# 30 km) se situe dans le prolongement d'une importante structure deltaïque. On y distingue deux parties, l'une interne et littorale, étroite et convexe, terminée par un abrupt entre 30 et 70 m de profondeur, l'autre externe, large et concave, surélevée à son extrémité. Ce secteur est caractérisé par un haut-fond allongé de même direction que la crête Gorgona (fig. 4, P9) dont l'immersion avoisine les 60 m et par un basculement vers le NNW de cette unité ; la profondeur de l'accore varie de 150 m vers le Nord à 100 m vers le Sud.

L'unité méridionale, uniforme, de largeur réduite (10 km) et de pente forte (> 10 %) sauf au niveau de la baie de Tumaco où la plate-forme s'élargit (36 km). On retrouve, comme pour les précédentes unités, une rupture

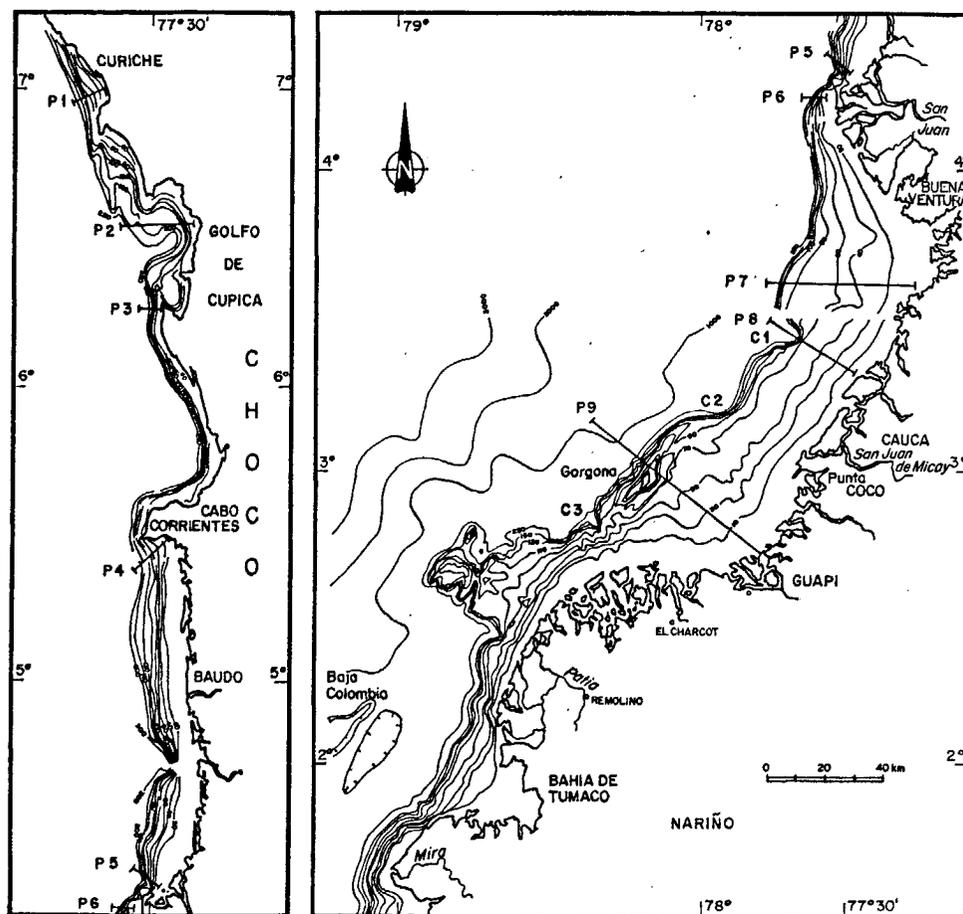


Figure 3

Bathymétrie de la plate-forme continentale Pacifique. L'équidistance des courbes est de 20 m jusqu'à 140 m.

Bathymetric map of the Pacific Platform and location of the bathymetric profiles.

de pente aux alentours de 50 m, ainsi que la présence d'un haut-fond : le Banc Colombia orienté NNE-SSW culminant à 60 m de profondeur.

Analyse morphostructurale de la plate-forme méridionale.

L'activité tectonique joue un rôle primordial dans l'évolution morphologique de cette marge ainsi que dans la répartition des environnements sédimentaires. C'est pour cette raison que nous avons effectué, sur cette marge, une analyse morphostructurale basée sur une cartographie interprétative des éléments de la topographie sous-marine. Cette démarche mise au point, en particulier par Prud'homme (1972), permet de décrypter et d'extraire les informations contenues dans tout document cartographique. C'est ainsi que de nombreuses études, effectuées en domaine marin, ont abouti à l'élaboration de schémas morphostructuraux cohérents (Gribouard, 1980; Burel, 1982; Affian, 1986 parmi d'autres). Nous nous sommes, ici, plus particulièrement intéressés aux caractères des réseaux d'entailles de la morphologie de la plate-forme sous-marine méridionale, ce dernier caractère étant plus porteur d'informations structurales et lithologiques (Gribouard et Prud'homme, 1987). L'étroitesse de la partie Nord et la moins bonne définition du document bathymétrique ne nous permettent pas d'y effectuer une analyse comparable.

Le réseau d'entailles (fig 5) présente quatre directions principales d'écoulement qui sont par ordre de fréquence décroissante : N120/140° ; N30/40° ; N90/100° ;

N178/180°. Deux importants axes de « drainage » coïncident avec les limites des unités définies préalablement alors qu'un troisième subdivise l'unité septentrionale en deux parties A et B. On remarque également que la longueur des drains est généralement d'ordre inverse à leur densité alors que l'unité centrale se démarque à nouveau de l'ensemble de la plate-forme. Ainsi apparaissent des variations faciologiques et morphologiques caractéristiques de cette plate-forme continentale.

Les anomalies de drainage donnent des informations à caractère structural. Un réseau anormalique est défini par comparaison entre le réseau réel et un réseau théorique qui prendrait naissance sous le seul contrôle du gradient général de pente. Ce dernier est obtenu à partir d'une surface régionale (fig. 6) et des lignes de plus grande pente correspondant aux lignes d'écoulement purement gravitaire. On extrait de la sorte un réseau « anormalique » (fig. 7) qui met en évidence trois directions « anormales » de « drainage » :

- la direction N30/40° coïncide avec la direction générale de la cordillère andine et est soulignée par les axes des hauts-fonds et des fosses qui les bordent. Elle correspond à une compression NNW-SSE (Moody, 1973). La séquence ophiolithique découverte sur l'île Gorgona (Paris et Marin, 1979) serait le prolongement méridional du chaînon de Baudo (Espinosa *et al.*, 1982) assimilable à la partie externe du complexe insulaire incorporé au bloc andin au Cénozoïque supérieur (Galvis, 1980). Les hauts fonds des unités 2 et 3 seraient du même type alors que les fosses bordières seraient pour leur part sous-tendues par de grandes failles de direction andine.

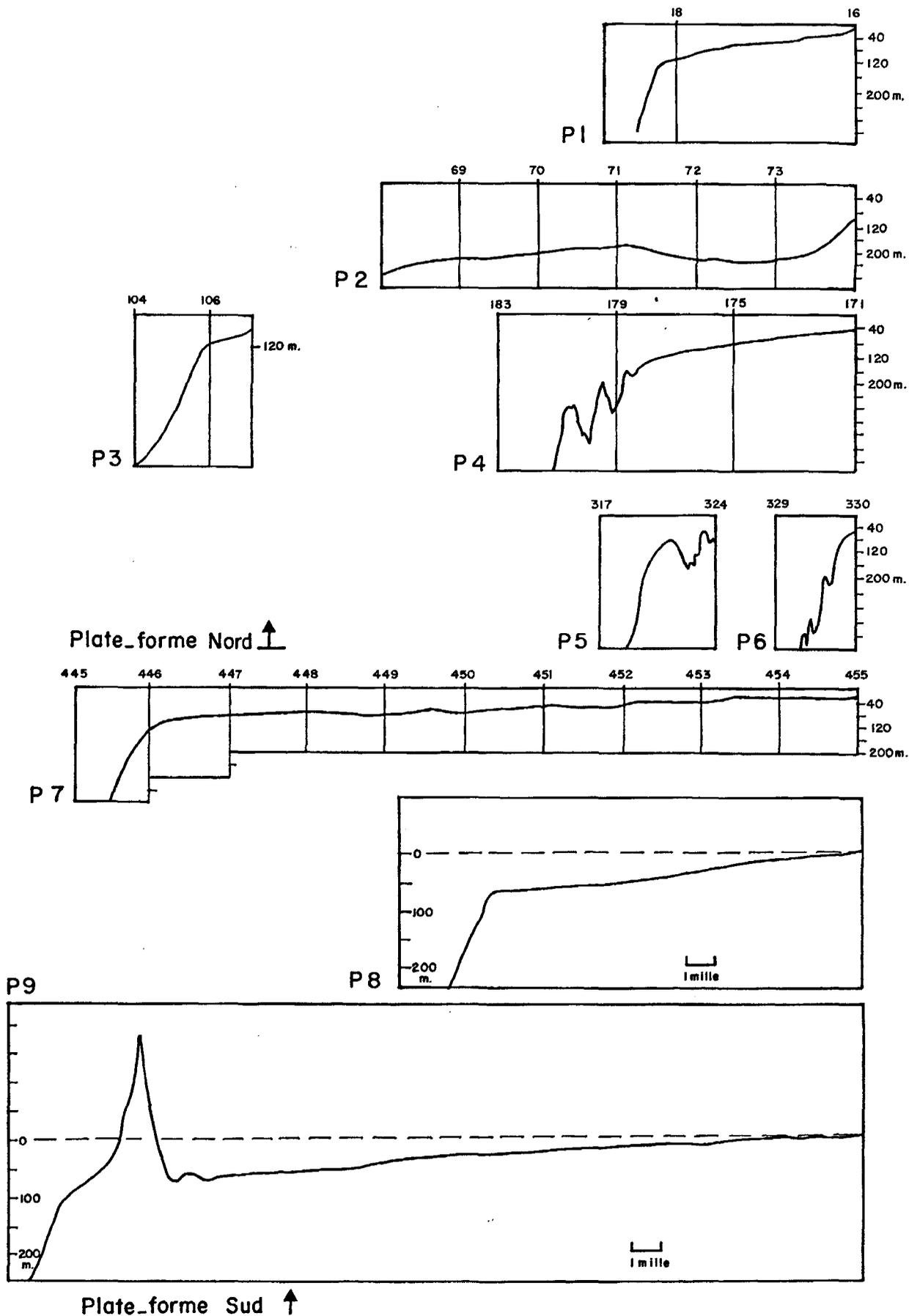


Figure 4
 Profils bathymétriques (voir situation géographique sur figure 3).
 Bathymetric profiles along the Colombian Pacific shelf (see location on figure 3).

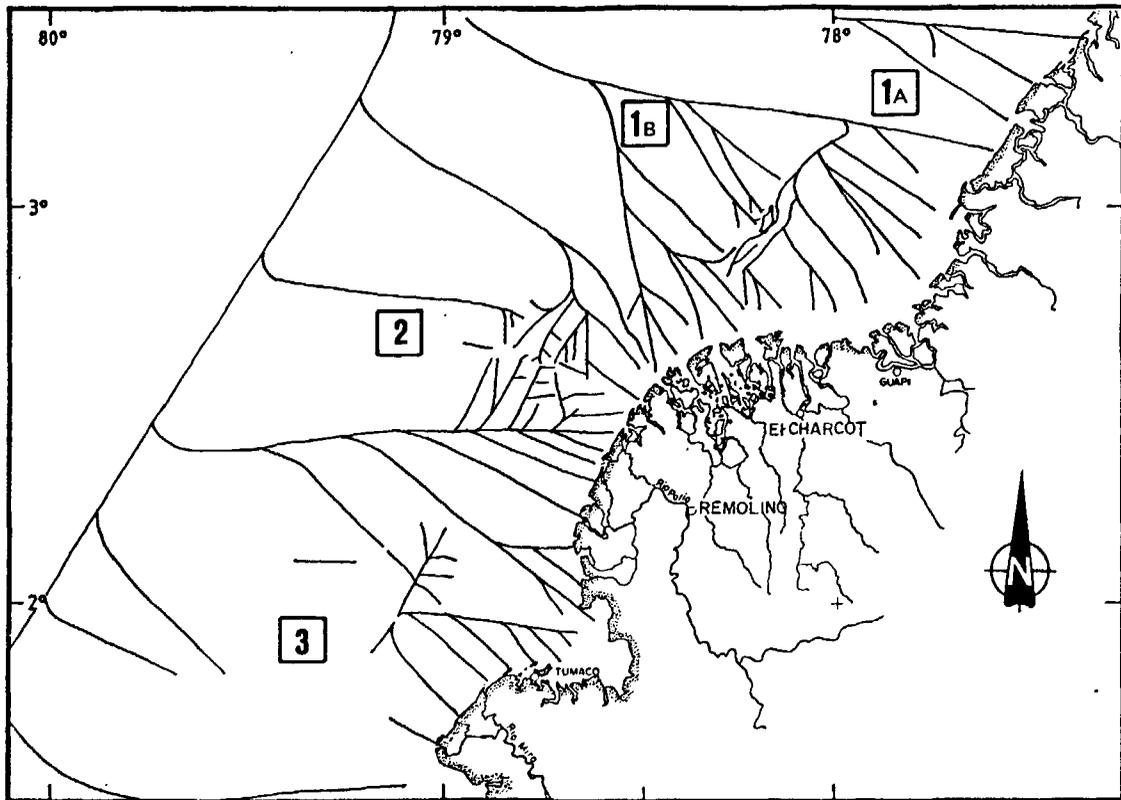


Figure 5
Réseaux d'entailles de la marge Pacifique (partie méridionale).
Submarine valley network of the southern part of the Pacific continental shelf.

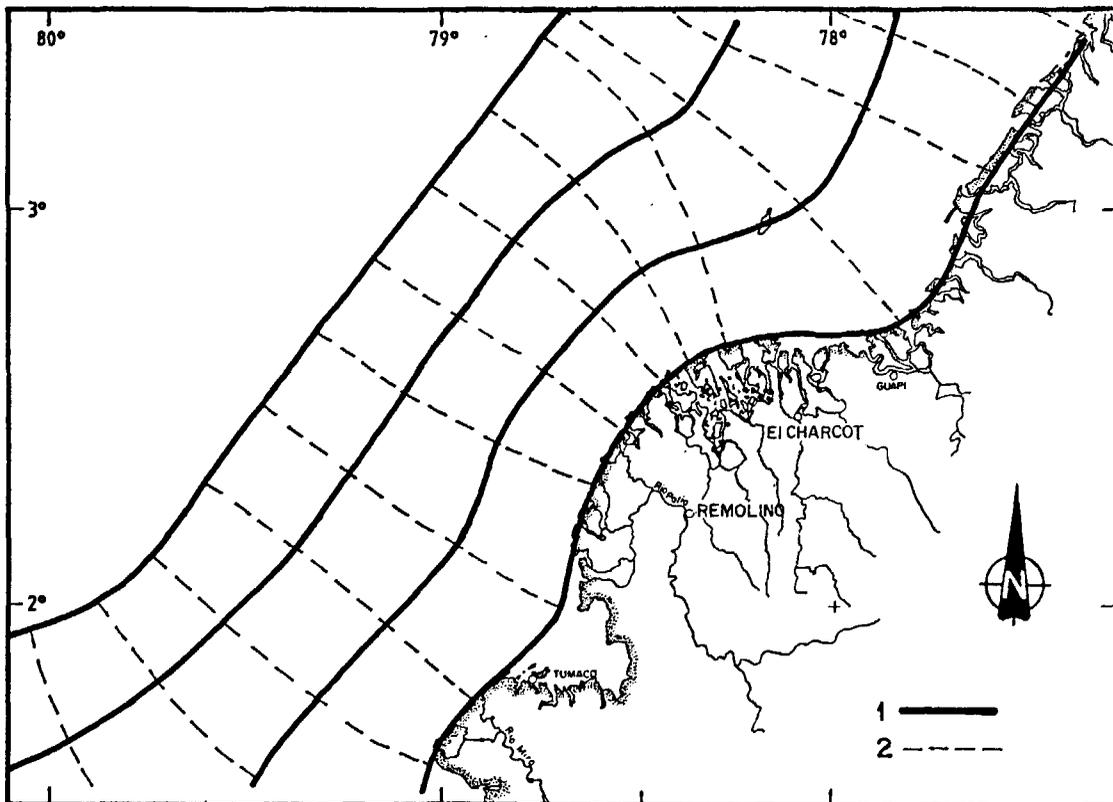


Figure 6
Définition d'une surface régionale et d'un réseau normal (zone méridionale). 1. Courbe bathymétrique ; 2. Pente générale.
Definition of a regional surface and of an adaptive valley network (southern area). 1. Bathymetric lines ; 2. Normal slope.

– la direction N90/100°, soulignée également par des drains importants, s'exprime en particulier par trois canyons (C1, C2 et C3) qui incisent le rebord du plateau (fig. 3). Elle marque certainement des directions importantes de fractures du substratum. Elle pourrait peut-être matérialiser un possible compartimentage des panneaux de croûte océanique subduite.

– la direction N170/180°, moins fréquente que les précédentes, affecte des drains secondaires.

Notons enfin que la direction N120/140°, qui apparaît la plus importante en nombre, correspond probablement à la direction générale de l'écoulement sous contrôle gravitaire.

L'esquisse morphostructurale (fig. 8) de la partie méridionale établie à partir des caractères morphologiques de la plate-forme et des réseaux d'entailles sous-marines permet de différencier trois compartiments morpho-structuraux qui trouvent souvent des prolongements en domaine continental.

L'unité septentrionale (1) est traversée par une discontinuité dont le jeu correspondrait à un coulissage dextre et de direction sub-équatoriale. Elle sépare deux secteurs, nord (A1) peu tectonisé et sud (A2) plus accidenté. Ce dernier semblerait lui-même composé de deux sous-unités séparées par une structure orientée approximativement N35/40° longeant le flanc oriental de l'île Gorgona.

Cette région présente de nombreuses incisions dont l'origine pourrait être recherchée dans une évolution récente en milieu sub-aérien de ces processus érosionnels. Ces réseaux d'entailles se seraient, pour l'essentiel, développés sur une plate-forme exondée au cours des bas niveaux marins quaternaires. Cependant, compte-tenu des directions générales de ce réseau, il est probable qu'une partie importante de celui-ci soit contrôlée par la trame structurale sous-jacente. En effet, des directions comparables (Ingeominas, 1976) guident certains segments des tracés d'entailles sub-aériennes et de fortes similitudes directionnelles apparaissent entre les axes structuraux de l'arrière-pays et le réseau sous-marin. Dans un tel contexte, l'érosion fluviale, guidée par ces discontinuités structurales n'aurait fait qu'amplifier l'impact morphologique.

L'unité centrale (2), de forme trapézoïdale, est limitée par des discontinuités de direction N170° à l'Est, sub-équatoriales au Nord (N95/100°) et au Sud (N90°). L'ensemble présente un basculement négatif vers le NNE, mouvement pouvant être corrélé à celui de même direction observable en domaine continental le long de la faille Remolino-El Charcot. Un sous-compartimentage s'effectue à partir d'un accident orienté N30°. Le premier bloc, au SSE, correspond pour partie au plateau continental proprement dit, le second constitue un large haut-fond.

Si l'on accepte l'hypothèse que ce haut-fond est un élément de l'arc externe (donc prolongement logique de la crête Gorgona), il faut envisager l'existence, entre cette unité et l'unité septentrionale, d'un décrochement dextre d'amplitude de l'ordre de la vingtaine de kilomètres.

L'unité méridionale (3), moins accidentée, est divisée en deux blocs distincts, séparés par un accident N30° : le premier correspond à une plate-forme étroite tandis que le

second constitue un haut-fond situé au large du plateau, dans le prolongement de celui de l'unité centrale, représentant également un élément de l'arc insulaire. Les directions locales N30°, N90° et N170° sont surtout présentes au sein des unités centrale et méridionale, alors que l'unité septentrionale est parcourue par des entailles dont les orientations principales sont N40°, N100° et N0°. Cette unité Nord a peut-être été affectée par un mouvement de rotation d'une dizaine de degrés dans le sens horaire par rapport aux unités Sud.

SÉDIMENTOLOGIE DES DÉPÔTS SUPERFICIELS

L'analyse sédimentologique porte sur plus de 500 échantillons prélevés par benne Shipeck ou cône Berthois. Les positions géographiques et les résultats d'analyse se trouvent dans Mirmand (1988) et Meidinger (1991).

Les faciès sédimentaires sont définis en utilisant la nomenclature proposée par Vernet (1985) (tab. 1).

a) *Le plateau continental* est principalement recouvert de faciès terrigènes (fig. 9).

Les sables couvrent la partie méridionale de la plate-forme au Sud de 4°N :

– sur le littoral en une bande continue de 1 mille de large, dépassant 5 milles au large de l'embouchure du Patia et dans la baie de Tumaco,

– sur la plate-forme externe (entre 3 et 4°N).

Ces dépôts sont composés de grains de quartz anguleux à subanguleux ainsi que de grains ferromagnésiens (magnétite, amphibole, pyroxène). La faible usure des grains et la forte proportion des éléments ferromagnésiens (plus de 50 %) résultent de la proximité des Andes d'où ils sont issus (roches éruptives calco-alcalines).

Les sables vaseux occupent la majeure partie de la plate-forme au Sud de 5°N, s'étendant parfois de la côte à l'accro au large des embouchures du San Juan, du Patia et du Mira. En fait le substrat sableux est recouvert d'un mince dépôt de vases actuelles dont la faible épaisseur (d'ordre centimétrique) traduit une alimentation réduite ou une érosion périodique.

Les vases ont une importance inégale du Nord au Sud. Elles sont bien développées entre Curiche et l'embouchure du San Juan, entre Buenaventura et Guapi où elles bordent le versant oriental de la crête Gorgona.

Tableau 1

Définition des faciès sédimentaires.

Sedimentary facies.

% des sables	0-10	10-90	90-100
% des CaCO ₃			
0-15	Vase terrigène	Sable vaseux terrigène	Sable terrigène
15-60		Sable vaseux carbonaté	Sable carbonaté
60-100			Sable biogène

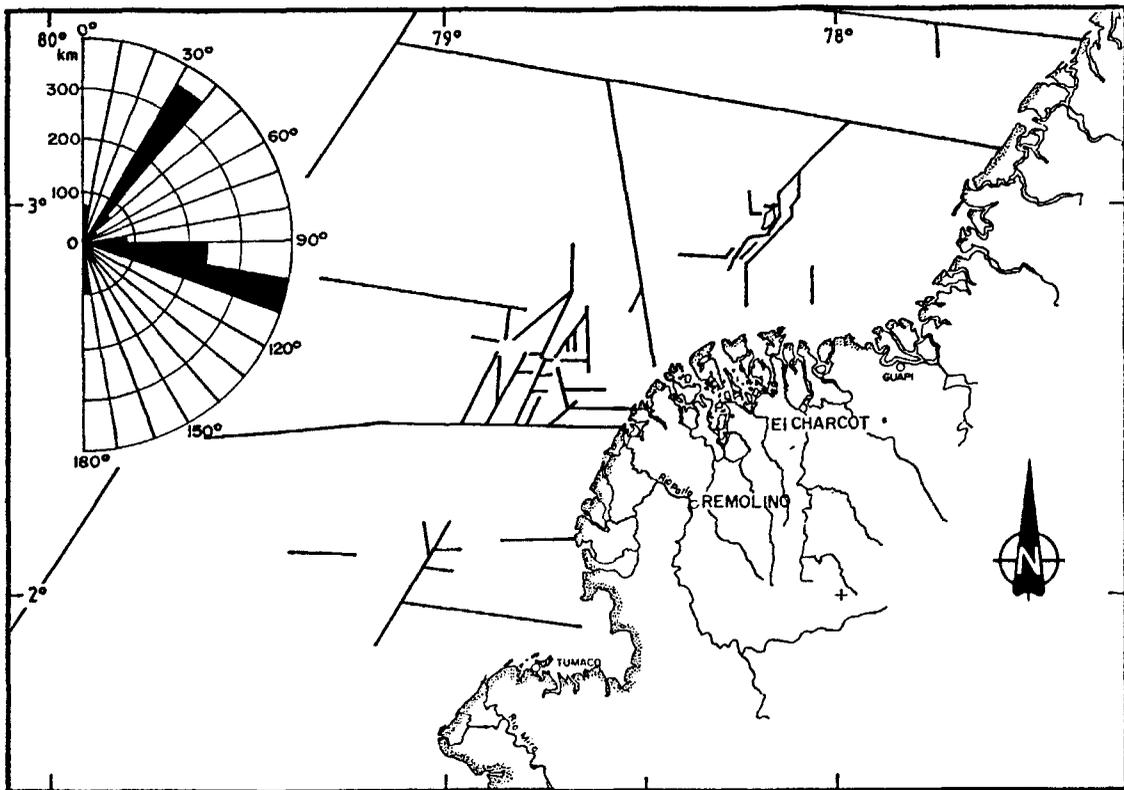


Figure 7
Anomalies de drainage sous-marin (zone méridionale) et directions principales.
Residual valley network (southern area) and diagram of mainly abnormal directions.

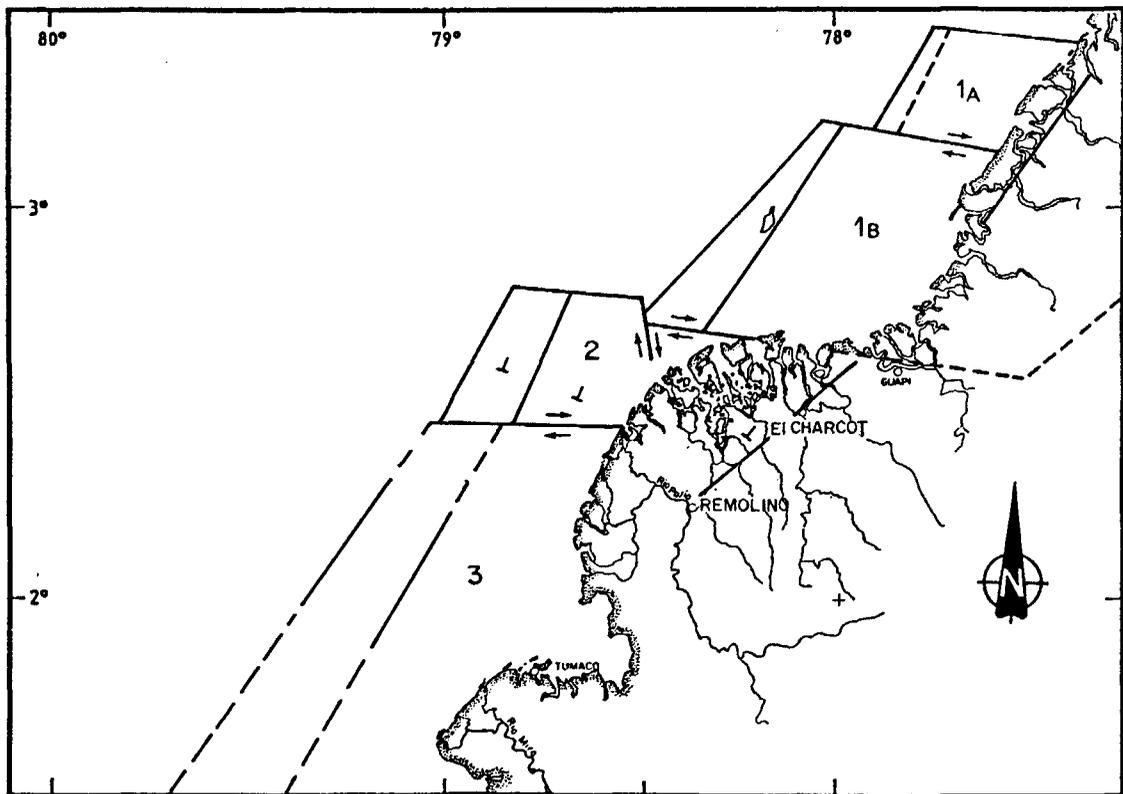


Figure 8
Synthèse morphostructurale. Définition du compartimentage de la plate-forme continentale (zone méridionale).
Interpretative morphostructural sketch-map.

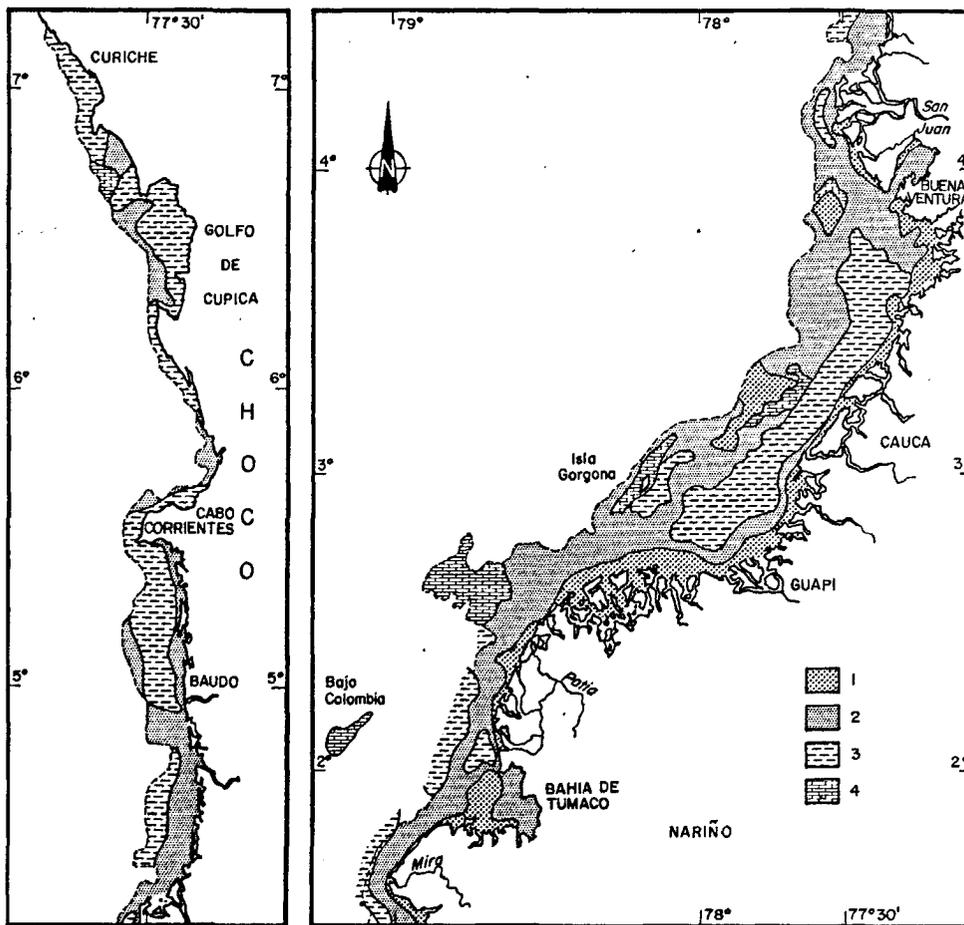


Figure 9

Répartition des faciès sédimentaires sur la plate-forme continentale Pacifique. 1. Sables terrigènes ; 2. Sables vaseux terrigènes ; 3. Vases terrigènes ; 4. Sables carbonatés et sables biogènes.

Sediment distribution of Colombian Pacific shelf. 1. Sands ; 2. Muddy sands ; 3. Muds ; 4. Carbonate sands and biogenic sands.

b) Les carbonates sont limités à la plate-forme externe.

Les sables biogènes, les sables et sables vaseux carbonatés sont riches en organismes (mollusques, foraminifères, bryozoaires, coraux). Entre 2° et 4°N, ils forment une bande discontinue orientée SSW et NNE entre 50 et 70 m de profondeur. Les sables biogènes – thanatocoenose de type récifal – couvrent les hauts fonds et en particulier la crête Gorgona ; les sables et sables vaseux carbonatés – en auréoles autour des précédents – représentent les produits de démantèlement des récifs (fig. 10).

A proximité de ces dépôts et sur l'ensemble de la plate-forme externe située au Nord de 5°, les sables terrigènes contiennent une fraction carbonatée (bioclastes) dont les teneurs sont inférieures à 15 % (fig. 10).

Les faciès granulométriques sont déterminés par deux types d'analyse : tamisage pour les sédiments comportant au moins 10 % de sable, sédiographie ou diffractométrie laser (Malvern) pour les particules silto-argileuses. Une formule d'équivalence établie entre ces deux derniers types d'analyse conduit à proposer 7,2 μm comme limite entre silts et argiles (Pujos *et al.*, 1989 ; Meidinger, 1991).

a) Fraction sableuse.

Les résultats de l'analyse granulométrique mettent en évidence l'extrême hétérogénéité des sables. La taille moyenne des particules montre en effet de fortes variations allant de 80 μm à 2 mm.

L'évolution des valeurs du skewness en fonction de la moyenne ($0 < SK < 5$) montre une asymétrie positive éle-

vée pour une moyenne faible traduisant la prédominance des éléments grossiers.

La déviation standard en fonction de la moyenne ($0,10 < T < 0,80$) est d'autant plus forte que la moyenne est élevée (Meidinger, 1991).

Une classification basée sur ces deux derniers paramètres a ainsi été établie : les moyennes sont regroupées en quatre classes : sables très fins (63-125 μm), sables fins (125-250 μm), sables moyens (250-500 μm), sables grossiers et graviers (> 500 μm). La déviation standard est divisée en trois parties caractérisant trois types de classement : sables bien classés ($T < 0,25$), moyennement classés ($0,25 < T < 0,50$), mal classés ($T > 0,50$).

L'illustration des faciès granulométriques est limitée à la plate-forme méridionale (au Sud de 4°N), seule région suffisamment étendue pour apprécier la distribution spatiale de ces deux paramètres (fig. 11). Les sables moyens et grossiers, plutôt mal classés, couvrent les hauts fonds en une bande continue orientée SSW et NNE. Les sables fins bien classés dans la partie interne de la plate-forme, moyennement classés ailleurs s'étendent au Nord de 3°30'. Les sables très fins, souvent bien classés au large des embouchures reflètent les apports fluviaux actuels.

Constatons enfin :

- que les valeurs de la déviation standard en fonction de la moyenne varient selon le faciès sédimentaire,
- que les faciès sédimentaires couvrent plusieurs domaines granulométriques.

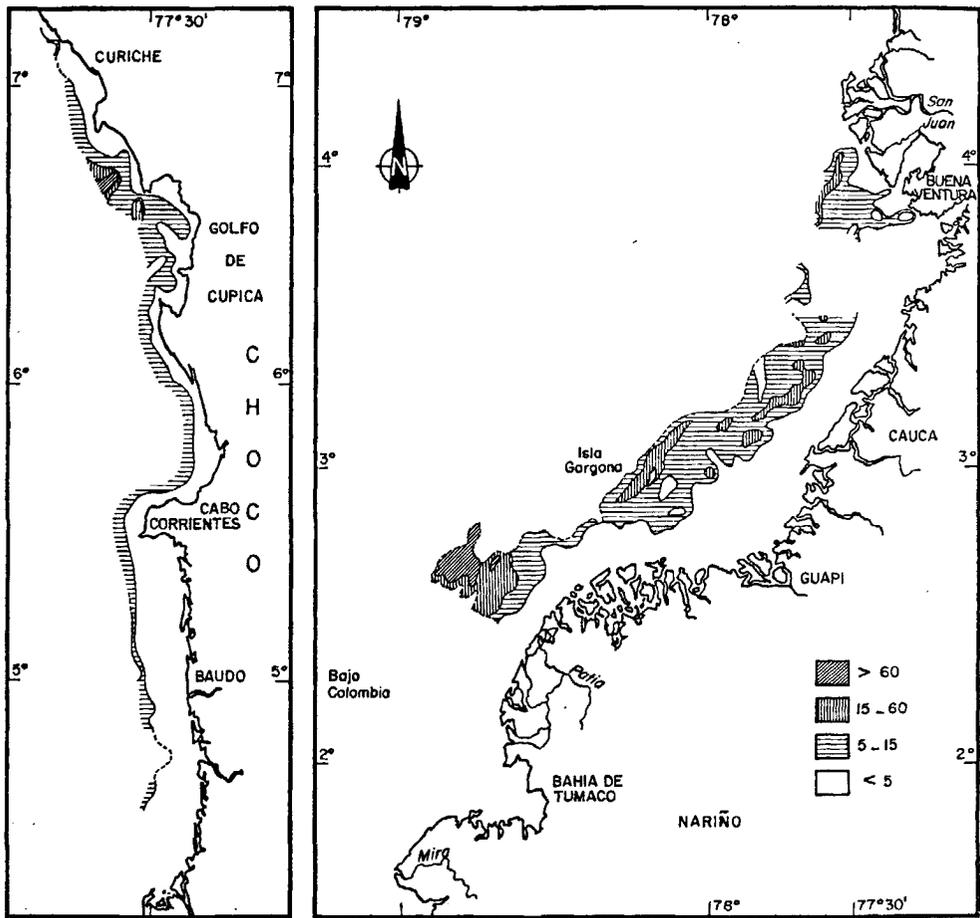


Figure 10
 Répartition des carbonates sur la plate-forme continentale Pacifique ; > 60 % sables biogènes ; 15-60 % sables et sables vaseux carbonatés ; 5-15 et < 5 % sables terrigènes.
 Carbonate contents > 60% biogenic sands ; 15-60% carbonate sands and carbonate muddy sands ; 5-15 and < 5% sands.

C'est ainsi que :

- les sables terrigènes littoraux regroupent les sables fins et moyens bien classés du domaine côtier,
- les sables terrigènes du plateau ont une granulométrie variable due au mélange de sables fins à moyens modérément classés et de sables moyens à grossiers,
- les sables vaseux, constitués de matériel fin à très fin ont une moyenne rarement supérieure à 200 µm. Ils sont très fins et bien classés sur le plateau interne, plus hétérogènes sur le plateau externe,
- les sables biogènes des hauts fonds sont modérément classés. La taille des particules, parfois de l'ordre du centimètre, limite leur transport et leur confère un caractère autochtone,
- les sables et les sables vaseux carbonatés, moyens et grossiers, présentent un mauvais classement. Toutes les fractions granulométriques sont représentées dans ces faciès de mélange.

b) Fraction fine (< 63 µm).

Six associations ont été définies caractérisées par un ou plusieurs modes granulométriques (tab. 2).

La distribution géographique la plus représentative de ces associations se trouve - comme pour les faciès granulométriques - au Sud de 3°30N où la plate-forme continentale est la plus étendue (fig. 12). Dans cette région, elle est liée :

- à la bathymétrie puisque les dépôts, de plus en plus fins vers le large, traduisent un tri dimensionnel des particules,

- à la latitude car la répartition varie du Sud au Nord : les associations B et C couvrent une grande partie de la plate-forme et du talus méridional, l'association C étant plutôt caractéristique des vasières, et de la plate-forme située au Nord de la baie de Tumaco. Entre l'embouchure du Patia et Guapi, les associations D et E constituent la fraction fine liée aux sables vaseux du plateau. Plus vers le Nord, entre Guapi et Buenaventura, les associations B et C sont en auréoles des vasières.

Mise en place des dépôts.

L'arrière-pays est constitué de deux régions situées au Nord et au Sud du Cap Corrientes :

Tableau 2

Définition des associations granulométriques dans les sédiments fins.
Granulometric associations in fine sediments.

Associations	Nature du sédiment	Mode granulométrique
A	Silt grossier	> 40 µm
B	Silt moyen	20 - 40 µm
C	Silt moyen	20 - 40 µm
	Silt fin	10 - 20 µm
D	Silt fin	10 - 20 µm
	Argile	< 8 µm
E	Silt grossier	> 40 µm
	Silt fin	10 - 20 µm
	Argile	< 8 µm
F	Argile	< 8 µm

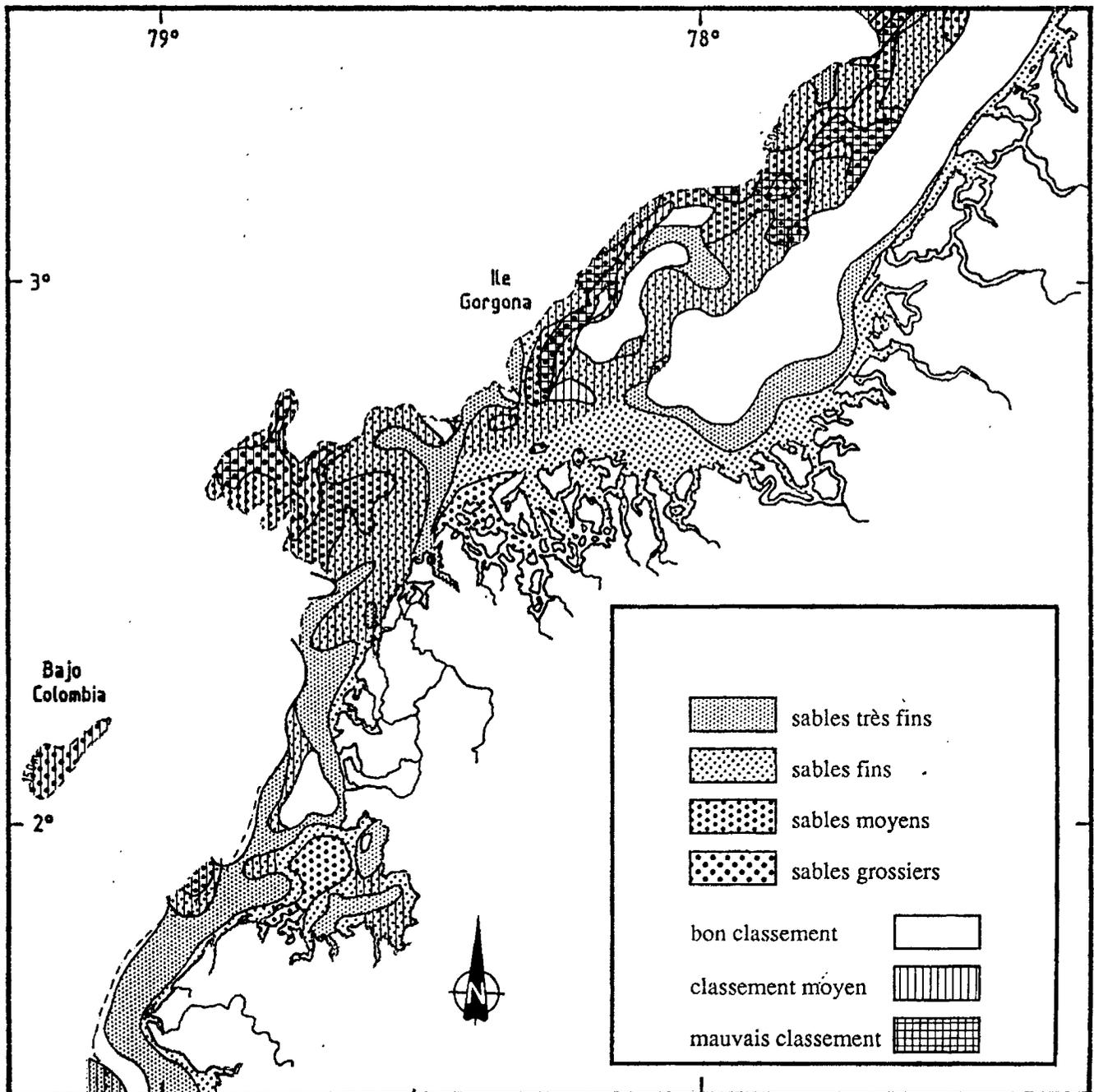


Figure 11

Répartition des faciès granulométriques sableux (plate-forme continentale méridionale).

Distribution of sedimentary facies based on granulometric studies of sands (southern shelf).

– **la région méridionale** où le littoral est bordé d'une côte basse marécageuse à mangroves et où les apports en suspension du Patia et du Mira proviennent :

- du bassin andin fournisseur où la rareté relative du couvert végétal et les précipitations abondantes se traduisent, dans la dépression Cauca-Patia (située à l'arrière de la cordillère occidentale), par une érosion et une charge solide spécifique des fleuves considérables de l'ordre de $2\,000\text{ t/km}^2/\text{an}$ (Meidinger, 1991) ;
- du bassin aval régulateur sur le versant ouest de la cordillère et dans la plaine côtière Pacifique. Malgré les intenses précipitations, le développement d'une épaisse

couverture végétale limite l'érosion. Une partie des particules en suspension se dépose dans la partie basse des fleuves, de l'ordre de $500\text{ t/km}^2/\text{an}$ près des embouchures ce qui représente un apport annuel pour les bassins versants de la zone au Sud de Buenaventura proche de 25.10^6 t.an^{-1} (Meidinger, 1991).

– **la région septentrionale** caractérisée par les chaînons du Baudo dont les promontoires rocheux dominent un littoral où se développent localement des plages et de petites plaines alluviales à mangroves où aboutissent de petits cours d'eau qui drainent les collines de l'arrière-pays (West, 1957).

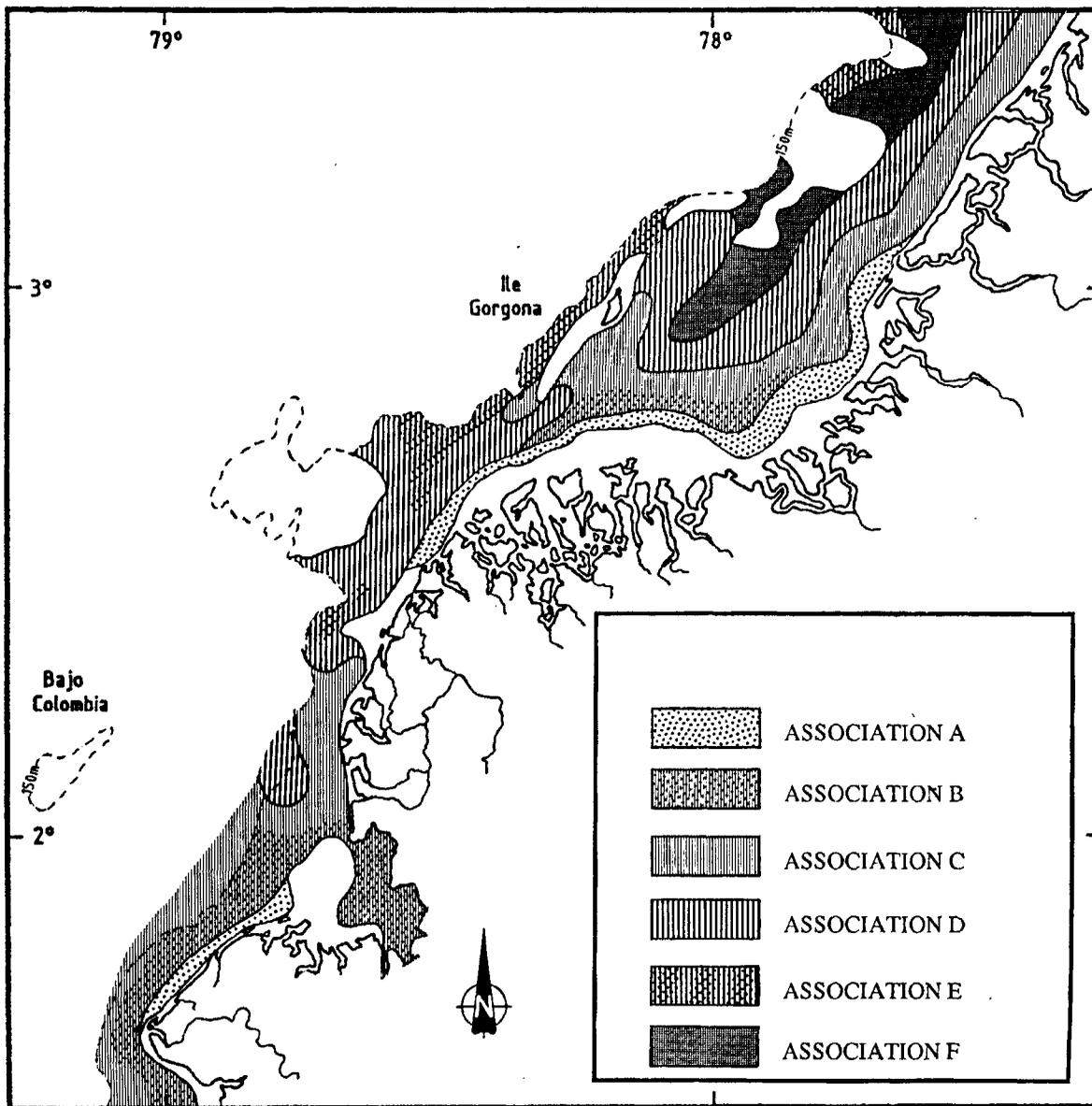


Figure 12

Associations granulométriques des dépôts vaseux (plate-forme continentale méridionale).

Distribution of sedimentary facies based on granulometric studies of fine deposits (southern shelf).

Dans le piémont andin, l'Atrato coule vers le Nord acheminant le matériel particulaire vers la Caraïbe (Javelaud, 1987).

Les sables.

L'action de la houle, prédominante dans la zone côtière (Meidinger, 1991), contrôle le dépôt des sables fins. L'agitation, localement plus intense, correspond au substrat des sables moyens de la partie externe de la baie de Tumaco. Dans cette région où la pente est faible, l'action prépondérante des courants de marée favorise le vannage des sédiments ; dans la partie interne (abritée) de la baie, se déposent les sables fins et très fins (fig. 9). Plus au large, les sables très fins, associés à une fraction silto-argileuse abondante (> 50 %), couvrent la majeure partie du plateau et auréolent les vases entre Guapi et Buenaventura d'une part, Baudo et le Cap Corrientes d'autre part. Ils représen-

tent un faciès de transition entre un environnement côtier modérément agité et les zones du large plus calmes.

La granulométrie des sables moyens et grossiers du plateau externe et en particulier des hauts fonds, ne correspond pas à la dynamique actuelle. Ces dépôts se sont probablement déposés en période de bas niveau marin, comme le laisse supposer la paléothanatoconose récifale qui leur est associée. Ils sont, dans le Pacifique, équivalents aux paléo-récifs qui bordent la plate-forme septentrionale de l'Amérique du Sud de l'Amazone à Panama et qui se sont développés entre 18 000 et 12 000 ans B.P. (Pujos et Odin, 1986 ; Pujos et Javelaud, 1991).

Les sables fins des zones externes du plateau sont constitués d'une fraction très fine actuelle (30-70 %), mise en place en milieu peu énergétique et d'une fraction plus grossière relique aux grains usés et rubéfiés déposée en milieu agité.

Les vases se déposent sur la plate-forme sous l'influence conjuguée de facteurs hydrodynamiques (houle, marée, circulation océanique) (figs. 9-12).

Sur le littoral, la houle (de type mésotidal) et les courants de marée induits par un fort marnage (2 à 4,5 m), constituent les agents de transport dominants qui favorisent le transit en suspension des particules fines vers le large.

Les turbidités en surface et au fond, souvent supérieures à 200 mg/l en débit moyen et/ou maximum du Guapi, San Juan de Micay, Mira, montrent l'importance des apports fluviaux (Meidinger, 1991).

L'image satellitale de Boca Majagual (fig. 13), l'une des embouchures du Patia montre, en période de débit supérieur à la moyenne annuelle, une plume turbide confirmant l'importance des rejets fluviaux et leur entraînement vers le NNE par le courant de Colombie dont les faibles variations saisonnières n'affectent pas la direction générale des plumes turbides (Andrade, 1986). Cette déviation maintient les eaux turbides dans la partie interne du plateau au Nord de 3°N (cliché du 1^{er} février 1986 *in* Meidinger, 1991). Plus au Sud, elles couvrent la majeure partie de la plate-forme entre la plaine deltaïque du Patia et l'île Gorgona. Les rejets



Figure 13

Flux sédimentaires à l'océan à Boca Majagual (l'une des embouchures du Patia). Les eaux turbides sont déviées vers le Nord. Photographie aérienne du 4 avril 1983.

Evolution of Patia suspended throwings (Majagual mouth). Turbid waters are turned off the North.

en suspension de ce fleuve s'étendent peu vers le large et ils contribuent à l'alimentation en particules fines de la plate-forme au Nord de 2°30 N (Meidinger, 1991).

La zonation latitudinale des dépôts vaseux s'explique par l'extension variable de la plate-forme ; entre Guapi et la baie de Buenaventura, elle est suffisamment étendue pour enregistrer un tri granulométrique (fig. 12) ; toutes les associations étant représentées. Ailleurs, la plate-forme est étroite, recouverte de silts (associations A, B et C) alors que les particules les plus fines alimentent la sédimentation de la marge continentale.

Répartition et origine du matériel argileux.

La part prépondérante prise par les particules fines dans la sédimentation terrigène actuelle se traduit par de nombreux dépôts vaseux et sablo-vaseux. Ceci nous a conduit à étudier les cortèges minéralogiques de la fraction argileuse pour en déterminer la répartition et l'origine.

L'étude des minéraux argileux a été réalisée par l'analyse aux rayons X selon la méthode employée par Latouche et Maillot (1979) ; celle-ci permet d'évaluer l'importance relative des smectites (Sm), kaolinites (K), illite (I) et chlorites (Cl).

L'analyse minéralogique de plus de cent échantillons fait apparaître quatre cortèges minéralogiques (Mirmand, 1988 ; Meidinger, 1991) (tab. 3).

Tableau 3

Minéralogie des argiles du plateau continental Pacifique (les moyennes sont exprimées en %).

Clays minerals on the Colombian Pacific shelf (mean in %).

Cortège	Minéral argileux						
	Sm	I	K	Cl	S/I	K/I	K/I + Cl
1	56	10	tr	30	5.6	0	0
2	4	28	-	68	0.1	0	0
3	10	32	9	49	0.3	0.3	0.1
4	22	27	13	38	0.8	0.5	0.2

– *Cortège 1* à smectite largement dominante (Md = 56 %) et un rapport S/I très fort (5,6).

– *Cortège 2* à chlorite très dominante (Md = 68 %) et illite (Md = 28 %). Ces deux minéraux représentent plus de 95 % de l'association minéralogique.

– *Cortège 3* à chlorite (Md = 49 %) et illite (Md = 32 %) dominantes.

– *Cortège 4* à chlorite (Md = 38 %), illite (Md = 27 %) et smectite (Md = 22 %).

Les cortèges à chlorite et illite dérivent souvent de l'altération faible à modérée de roches cristallines ferromagnésiennes. Sous les latitudes concernées un tel cortège est rencontré en haute montagne, là où le climat n'est pas agressif.

Les cortèges à kaolinite ou smectites : la kaolinite est l'argile type des climats tropicaux dans les zones bien drainées. La smectite est plus complexe avec une origine soit volcanique, soit pédologique, issue d'altérations en pays

tropical/équatorial de zones mal drainées. Ces cortèges sont répartis en quatre provinces minéralogiques (fig. 14) :

– la province à smectites (cortège 1) s'étend de la frontière du Panama où ce minéral atteint des teneurs supérieures à 70 % jusqu'à Baudo. On la retrouve vers l'Équateur, au Sud de l'embouchure du Mira ;

– la province exclusivement composée de chlorite et d'illites (cortège 2) occupe la majeure partie de la plate-forme entre Baudo et Punta Coco ;

– la province à chlorite et illite dominantes (cortège 3) se développe entre Punta Coco et le delta du Patia. On y distingue deux zones, l'une septentrionale sur l'ensemble de la plate-forme, plus riche en chlorite (52 %), l'autre méridionale limitée à la plate-forme interne plus riche en illite (35 %) ;

– la province à illite-chlorite-smectite (cortège 4) s'étend du delta du Patia à l'embouchure du Mira. Elle occupe la plate-forme externe au Nord de la région (où les teneurs en smectites diminuent : Md = 16 %) et toute la plate-forme au large de la baie de Tumaco.

Sur la côte Atlantique, les apports particuliers du continent Sud-américain en mer sont bien connus depuis le débouché de l'Amazone jusqu'à la région Caraïbe (Gibbs, 1967 ; Eisma et Van Der Marel, 1971 ; Irion, 1991). Illites et chlorites, issues des Andes, représentent la source montagnaise, de loin la plus abondante, consécutive à une érosion mécanique. Ces observations semblent communes à l'ensemble de la chaîne, des Andes boliviennes (bassin du Madeira, Guyot, 1992) aux Andes colombiennes (Atrato, nos analyses) (tab. 4).

Kaolinites et smectites, provenant respectivement des terres basses et des marais à mangroves, expriment la source tropicale caractérisée d'altérations géochimiques sous climat chaud et humide et parfois des néoformations (Pujos *et al.*, soumise).

Sur la côte Pacifique, l'influence de la source montagnaise est encore plus nette ; la proximité du massif andin, les forts gradients de pente, le développement du réseau hydrographique et un drainage efficace favorisent les apports en suspension et confèrent à cette région son originalité. L'intensité des processus érosifs y est variable selon la densité du couvert végétal tributaire de l'étagement climatique et du volume des précipitations (West, 1957 ; Aguirre, 1985).

Ainsi, la répartition des argiles de la plate-forme continentale Pacifique paraît liée à l'existence de trois sources principales :

a) *Une source andine* où la prépondérance de l'association illite-chlorite (cortèges 2 et 3) reflète les paragenèses argi-

Tableau 4

Cortèges argileux andins.

Andean clay minerals.

Cortège argileux	Madeira (Guyot, 1992)	Atrato (cette étude)
Sm	9	19
I	53	25
K	20	tr
Cl	18	56

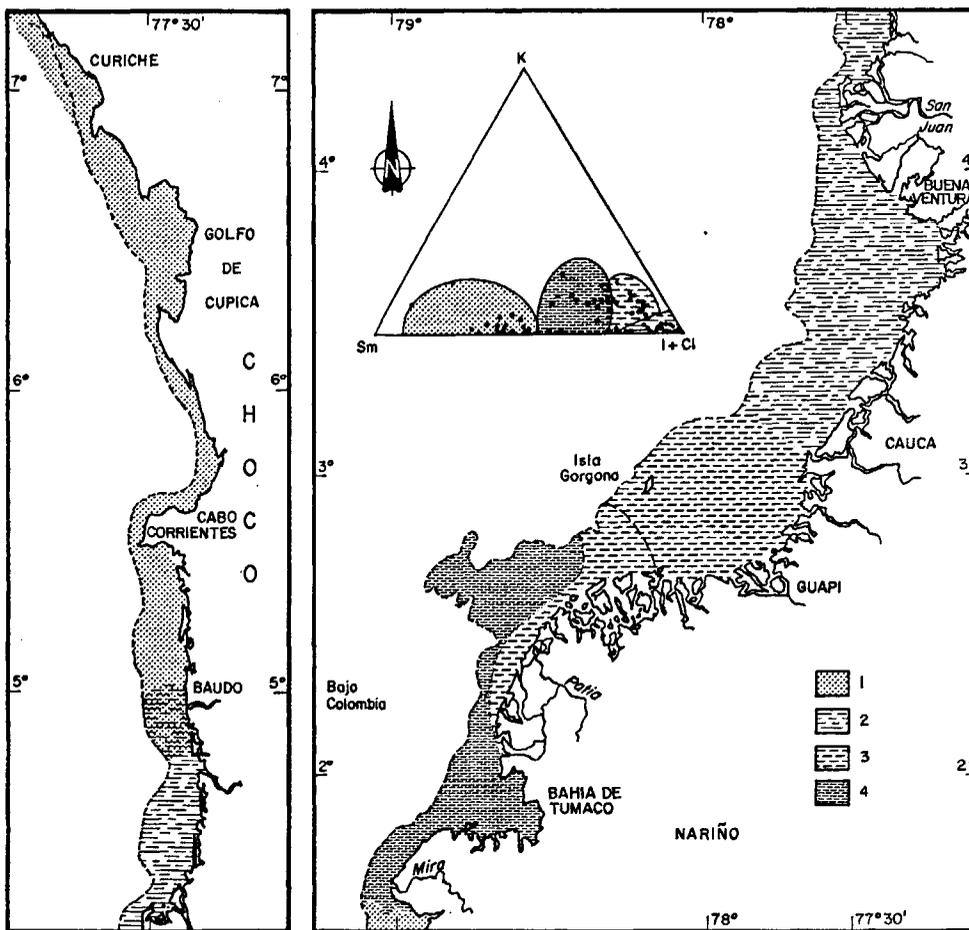


Figure 14

Répartition des cortèges argileux sur la plate-forme continentale Pacifique : 1. smectite (56 %) ; 2. chlorite (68 %)-illite (28 %) ; 3. chlorite (49 %)-illite (32 %) ; 4. chlorite (38 %)-illite (27 %)-smectite (22 %).

Clay mineralogy of the Colombian Pacific shelf.

leuses des bassins fluviaux andins (Tab. 4). La région qui illustre le mieux cette origine andine est située au large des différents bassins versants débouchant en mer entre Guapi et Cap Corrientes où les fortes teneurs en illite et chlorite (> 90 %) s'expliquent par la proximité des Andes d'où ces minéraux paraissent issus. L'abondance de la chlorite est probablement liée aux roches de l'arrière-pays dont la nature pétrographique, essentiellement basique, privilégie la formation de chlorite (ferromagnésienne) au détriment de l'illite (potassique). Comme l'ont précédemment montré dans le bassin du Venezuela, Gandais (1987), Parra *et al.* (1986) et sur les côtes guyanaises, Bouysse *et al.* (1980), l'illite semble par contre beaucoup mieux représentée dans les assemblages dérivés de provinces pétrographiques acides.

Les paragenèses provenant du bassin versant du Patia présentent aussi un caractère andin dominant (partie méridionale de la province minéralogique 3). Les illites et les chlorites cardinales à parts sensiblement égales peuvent être attribuées à la présence de substrats pétrographiques basiques à intermédiaire de la cordillère occidentale ; les smectites et les kaolinites qui leur sont associées proviennent vraisemblablement de la dépression Cauca-Patia et de la plaine côtière.

Les rejets du Patia sont dispersés sur l'ensemble de la plate-forme. Ils alimentent notamment la vasière qui borde la face orientale de la crête Gorgona et la partie sud de la grande vasière interne. Dans cette région, ils se mélangent aux apports des bassins versants du Nord et de l'île Gorgona.

L'empreinte de ces derniers se manifeste par un enrichissement relatif en chlorites aux dépens de l'illite (partie septentrionale de la province minéralogique 3).

L'association andine est dominante dans les apports du Mira (cortège 4), mélangée aux smectites (30 %) des zones basses et des mangroves (Meidinger, 1991 ; Pujos *et al.*, soumise). Elle reste la source principale des apports à la vasière située au Nord de la baie de Tumaco.

La composition minéralogique des sédiments de l'ancienne plaine deltaïque du Patia est équivalente au cortège 2.

Ainsi les bassins versants du Mira, du Patia et des fleuves entre Guapi et Cap Corrientes possèdent chacun un assemblage spécifique (cortèges 4, 3 et 2). Leur position géographique, située toujours au Nord des sources, précédemment définies suggère une migration vers le Nord des rejets fluviaux sous l'influence du courant de Colombie.

b) Une source équatorienne.

Le cortège 1, à smectites dominantes, rencontré au Sud du Mira, proviendrait de la province d'Esmeraldas dans le Nord de l'Équateur (De Miro *et al.*, 1977) drainée par l'Esmeraldas, le Cayapas et le Santiago, qui sont avec le Mira, les fleuves régionaux les plus importants.

c) Une source méso-américaine.

Le cortège à smectites dominantes (cortège 1) se développe de la frontière du Panama au Cap Corrientes.

L'Amérique centrale constitue une source importante en smectites pour le bassin caraïbe de la Colombie (Griffin et Goldberg, 1969). Cette contribution a été également envisagée par l'un de nous (Pujos et Javelaud, 1991), faisant intervenir le contre-courant de Panama pour expliquer la présence des vases smectitiques de la plate-forme continentale située entre le Sinu et le Golfe du Darien (fig. 15).

Sur la côte Pacifique de la Colombie, cette contribution est également très probable. En effet, à titre d'exemple, les argiles du Golfe de Tehuantepec (Mexique) présentent des teneurs très élevées en smectites (50-75 %) et en moindre abondance des illites (10-30 %) et des chlorites (10 %) (Boumaggard, 1994). Il est probable que ce matériel particulaire véhiculé par le contre-courant du Choco (Andrade, 1986) aboutit sur les côtes colombiennes où il reste prépondérant jusqu'au Cap Corrientes en l'absence d'apport andin.

Dans cette région de la frontière du Panama au Cap Corrientes, l'Atrato (dont le cours est parallèle aux Andes) et ses tributaires drainent la Cordillère et les chaînons côtiers. Les suspensions de l'Atrato (Chlorite = 56 %, Illite = 25 %) ne peuvent aboutir dans l'océan Pacifique ; elles transitent par le Golfe du Darien où elles se déposent en partie, puis se déversent en mer de Caraïbes (Javelaud, 1987 ; Pujos et Javelaud, 1991). La similitude latitudinale qui apparaît entre la région océanique où s'étale le cortège minéralogique 1 d'une part et la vallée fluviale de l'Atrato qui piège le matériel particulaire d'autre part montre effectivement que les illites et les chlorites du Pacifique ne proviennent pas de la cordillère des Andes, mais peut-être, et en partie seulement, du drainage des chaînons du Baudo par les petits fleuves côtiers. Une origine allochtone doit être envisagée pour l'essentiel des smectites puisque les terres basses et les mangroves n'ont pas une extension suffisante pour que l'on puisse leur en attribuer la provenance.

Il se peut aussi que des dépôts plus anciens, riches en smectite, contribuent à ce type de cortège. Dans le cadre de cette étude préliminaire de tels dépôts n'ont toutefois pas été rencontrés. Il convient de souligner que l'essentiel de la sédimentation argileuse marine peut être expliquée par la reprise des produits argileux d'altération continentale.

Il se peut aussi que des dépôts plus anciens, riches en smectite, contribuent à ce type de cortège. Dans le cadre de cette étude préliminaire de tels dépôts n'ont toutefois pas été rencontrés. Il convient de souligner que l'essentiel de la sédimentation argileuse marine peut être expliquée par la reprise des produits argileux d'altération continentale.

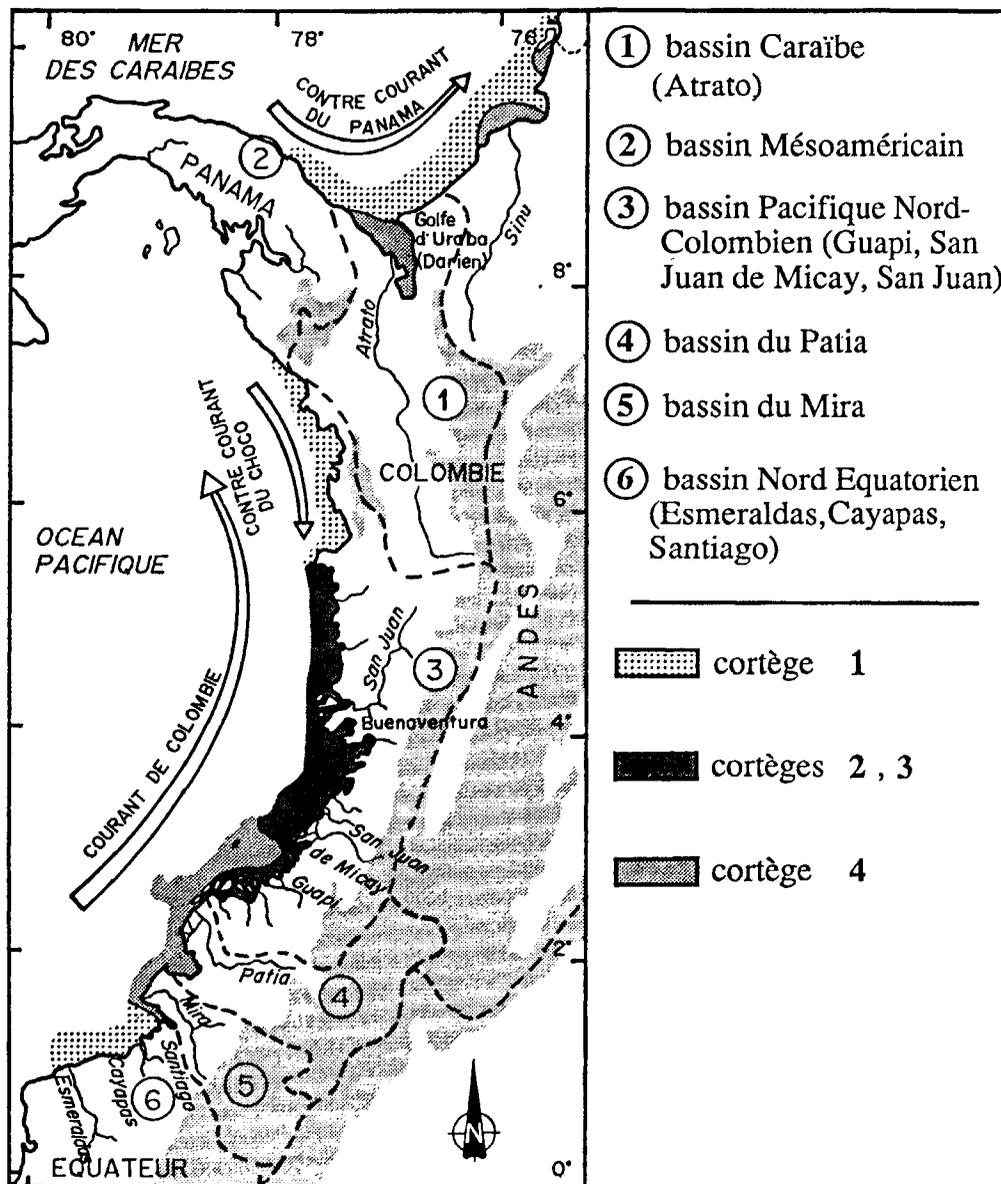


Figure 15

Origine des minéraux argileux. Facteurs de dispersion. Circulation de surface dans le Pacifique d'après Andrade (1986).

Clay minerals origin.

taux actuels. Si une contribution argileuse de matériaux plus anciens peut toujours être évoquée, elle ne peut qu'être limitée ou constituée de phases argileuses similaires aux produits d'altération actuels.

CONCLUSIONS

Les résultats essentiels de cette première étude générale de la plate-forme continentale Pacifique de la Colombie montrent que la sédimentation est régie par l'interaction de différents facteurs, à savoir :

Le contrôle structural. La partie nord (de la frontière panaméenne au delta de San Juan), les chaînons volcaniques tertiaires du Baudo ont un prolongement sous-marin : il en résulte une extrême étroitesse et une pente générale forte de la plate-forme.

Vers le Sud, la plate-forme doit être considérée comme le prolongement sous-marin du bassin sédimentaire récent de l'Atrato-San Juan. Elle est largement influencée par l'organisation structurale environnante : la direction N30°/40° liée aux structures andines typiques correspond bien à l'orientation générale de la cordillère. La direction N90°/100°, associée à sa direction conjuguée N170°/180°, peut être reliée à l'Ouest aux mouvements méridiens affectant la zone de fracture de Panama et la dorsale des Galapagos.

Les hauts-fonds (Gorgona, banc Colombie) doivent être considérés comme des vestiges de la partie externe de l'arc volcanique (insulaire) incorporé au continent durant le Pliocène. Tous ces éléments sont décalés les uns par rapport aux autres par le jeu de décrochements dextres sensiblement équatoriaux. Vers le Nord, ces structures émergées constituent le chaînon côtier de Baudo, alors que vers le Sud elles n'émergent qu'au niveau de la crête Gorgona.

Les processus sédimentaires.

La plate-forme est couverte :

- de faciès terrigènes, reflet des apports fluviaux actuels d'un arrière-pays andin très arrosé où seul le couvert végétal est en mesure de limiter une intense érosion. Ce sont des *vases* qui s'accumulent préférentiellement dans des zones parallèles à la côte et des *sables* actuels (sur la plate-forme interne) et reliques (sur la plate-forme externe). Les

sables vaseux, très abondants résultent de la superposition de sables reliques et de vases actuelles.

- de sables et sables vaseux carbonatés, biogènes, qui couvrent les hauts-fonds de la plate-forme externe, hérités d'une paléothanatozoenose de type récifal.

Le cadre hydrodynamique. Au débouché des fleuves, les éléments terrigènes sont soumis à une dynamique côtière d'énergie modérée (houles, courants de marée) induisant une dérive littorale dirigée vers le Nord. Les matériaux les plus fins sont expulsés vers le large et entraînés vers le Nord par le courant de Colombie. Un tri dimensionnel des suspensions se matérialise par une décroissance granulométrique des particules vers le Nord et le large, particulièrement nette lorsque le plateau est suffisamment étendu pour enregistrer les effets de ce tri.

L'interaction de ces différents facteurs est responsable de la distribution des cortèges argileux. Les flux particuliers sont entraînés soit vers le Nord par le courant de Colombie (au Sud de 5°N), soit vers le Sud par le contre-courant du Choco (au Nord de 5°N).

Trois sources sont identifiées :

- une source andine, caractérisée par la prédominance de l'association illite-chlorite dans une proportion supérieure à 90 %, conséquence de la proximité des Andes. Le court trajet vers la mer du matériel argileux provoque l'abondance et favorise la préservation de ces espèces minérales,

- une source méso-américaine smectitique qui alimente pour l'essentiel la marge nord Pacifique par l'intermédiaire du contre-courant du Choco,

- une source équatorienne smectitique qui se manifeste au Sud sous l'action du courant de Colombie.

Le devenir des flux issus de ces trois sources est lié aux facteurs exposés ci-dessus. Il en résulte une distribution sur la plate-forme continentale intégrant à la fois les effets du contrôle structural, sédimentaire et hydrodynamique mais aussi sur le continent où le tracé des fleuves paraît jouer un rôle capital, notamment par la dérivation d'une partie des flux andins vers le Nord par le fleuve Atrato.

Ces travaux sur l'environnement marin des côtes colombiennes s'inscrivent dans un programme de coopération scientifique et technique entre le Centre de Recherches océanographiques et hydrographiques de Carthagène et le Département de Géologie et Océanographie de l'Université de Bordeaux I

RÉFÉRENCES

Affian K. (1986). Incidences réciproques des structures continentales et océaniques sur l'évolution du domaine ouest-africain (Golfe de Guinée et Côte d'Ivoire méridionale). Analyse morphostructurale. *Thèse 3^e cycle*, Bordeaux, 2167, 293 p.

Aguirre M. (1985). Nariño. Aspectos geograficos. *Inst. Geografico Augustin Codazzi*, 117 p.

Andrade C. (1986). Condiciones de movimiento geostrofico en el Pacifico colombiano. *Tesis de Grado*, Escuela naval, Cartagena, 100 p.

Boumaggard E.H. (1994). Étude des environnements structuraux et sédimentaires des aires de phosphatogenèse associées au courant d'upwelling sur la marge du Golfe de Tehuantepec (Mexique, Pacifique oriental). *Thèse Université*, Bordeaux, 1083, 310 p.

Bouysse P., P. Vairon, H. Zeegers (1980). Géochimie des sédiments superficiels du plateau continental de la Guyane Française. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 28, 93-114.

Burel T. (1982). Caractérisation des modalités d'évolution récente de la marge continentale nord-colombienne. *Thèse 3^e cycle*, Bordeaux, 1817, 232 p.

- Eisma D., H.W. Van der Marel** (1971). Marine muds along the Guyana coast and their origin from the Amazon basin. *Contr. Mineral and Petrol.*, **31**, 321-334.
- Espinosa A.** (1982). Los ofiolitas del suroccidente colombiano y la tectonica de placas. *Pub. Geol. Esp. Ingeominas*, 31-35.
- Galvis J.** (1980). Un arco de islas terciario en el occidente colombiano. *Geologia colombiana*, **11**, 7-43.
- Gandais V.** (1987). Clay mineral sources of the Grenada basin, southeastern caribbean. *Clay minerals*, **22**, 395-400.
- Griboulard R.** (1980). Relations entre morphologie, tectonique et lithologie dans le domaine côtier et sous-marin de la Meseta septentrionale marocaine. *Thèse 3^e cycle*, Bordeaux, 1601, 117 p.
- Griboulard R., R. Prud'homme** (1987). Analyse morphostructurale de la carte bathymétrique du proche plateau continental marocain entre Mohammedia et Rabat. *Notes Serv. Géol. Maroc*, Rabat, **43**, 321, 299-316.
- Griffin J.J., E.D. Goldberg** (1969). Recent sediment of caribbean sea. In : Tectonic relations of northern central America and the western caribbean. A.R. McBirney editor. *American Association of Petroleum Geologists*, **11**, 258-268.
- Guyot J.L.** (1992). Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie brésilienne. *Thèse Université*, Bordeaux, 774, 362 p.
- Ingeominas** (1976). Mapa geologico de Colombia. Escala 1 : 1 500 000. *Ingeominas*, Bogota.
- Irion G.** (1991). Minerals in rivers. Biogeochemistry of major world rivers. Ed. Degens, Kempe et Richey, **12**, 265-281.
- Javelaud O.** (1987). La sédimentation du plateau continental de la Colombie caraïbe au cours du Quaternaire terminal. *Thèse Université*, Bordeaux, 71, 382 p.
- Latouche C., N. Maillet** (1979). X Ray mineralogy studies leg 48, Rockwall. *Initial Report of DSDP*, XLVIII, 665-676.
- Meidinger P.** (1987). Estudio morfologico hidrológico y sedimentológico de la plataforma continental del Pacífico colombiano (desde la frontera con el Ecuador hasta la bahía de Buenaventura). *Rapport Centro Investigaciones Oceanograficas e Hidrograficas*, Cartagena, 60 p.
- Meidinger P.** (1991). Nature et origine des dépôts sédimentaires sur une plate-forme de marge active : la bordure Pacifique des Andes colombiennes dans les régions du Nariño et du Cauca. *Thèse Université*, Bordeaux, 608, 184 p.
- Mirmand M.** (1988). Estudio sedimentológico de la plataforma continental del Pacífico desde la frontera con Panama hasta bahía Buenaventura. *Rapport Centro Investigaciones Oceanograficas e hidrograficas*, Cartagena, 65 p.
- Molina A., M. Mirmand** (1992). Estudio sedimentológico de la plataforma continental norpacífica colombiana (bahía de Buenaventura, frontera con Panama). *Boletín Científico Centro Investigaciones Oceanograficas e hidrograficas*, **10**, 27-36.
- Moody Y.** (1973). Petroleum exploration aspect of Wrenght-fault tectonics. *American Association of Petroleum Geologists*, **57**, 3, 449-476.
- Murcia A.** (1981). Rasgos morfologicos de la tectonica cuaternaria en el suroccidente de Colombia. *Geologia norandina*, **4**, 23-30.
- Murcia A.** (1982). El volcanismo plio-cuaternario de Colombia. *Pub. Geol. Esp. Ingeominas*, 1-17.
- Paris G., P. Marin** (1979). Generalidades acerca de la geologia del departamento del Cauca. Reseña explicativa del mapa geologico del departamento del Cauca, *Ingeominas*, 38 p.
- Parra M., J.C. Pons, A. Ferragne** (1986). Two potential sources for Holocene clay sedimentation in the caribbean basin: the lesser Antilles arc and the South American continent. *Marine Geology*, **72**, 287-304.
- Pennington W.** (1981). La subduccion de la cuenca oriental de Panama y la sismotectonica del noroeste de Sur America. Memorias del proyecto Nariño III. Inst. Geofísico de los Andes colombianos. *Univ. Javeriana*, 97-137.
- Prud'homme R.** (1972). Analyse morphostructurale appliquée à l'Aquitaine occidentale et au Golfe de Gascogne. *Thèse Doct. Etat*, Bordeaux, 353, 360 p.
- 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., 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. *Continental Shelf Research*, **11**, 7, 601-623.
- Pujos M., C. Latouche, N. Maillet.** Late Quaternary paleoceanography of the French Guiana continental shelf: clay minerals evidence. *Journal of Sedimentary Research*, soumise.
- 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.
- Shepard F.** (1973). Submarine geology. New York Evanston-San Francisco-London, Harper et Row, 517 p.
- Thouret J., T. Van Der Hammen** (1981). Una secuencia holocénica y tardiglacial en la cordillera central de Colombia. *Revista Centro Interamericano de Fotointerpretacion*, **6**, 1-13, 609-634.
- Vanney J.R.** (1977). Géomorphologie des plate-formes continentales. *Doin ed.*, 300 p.
- Vernette G.** (1985). La plate-forme continentale caraïbe de la Colombie (du débouché du Magdalena au Golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. *Thèse Doct. Etat*, Bordeaux, 834, 387 p.
- West R.** (1957). The Pacific lowlands of Colombia. A negroid area of the American tropics. *Ph.D.*, Louisiana State University of Baton Rouge, 278 p.