

# Ouverture et évolution tectono-sédimentaire du golfe de Guayaquil : bassin d'avant-arc néogène et quaternaire du Sud des Andes équatoriennes

*Opening and tectonic and sedimentary evolution of the Gulf of Guayaquil:  
Neogene and Quaternary fore-arc basin of the south Ecuadorian Andes*

Yann Deniaud<sup>a\*</sup>, Patrice Baby<sup>b</sup>, Christophe Basile<sup>a</sup>, Martha Ordoñez<sup>c</sup>, Galo Montenegro<sup>c</sup>, Georges Mascle<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institut Dolomieu, UPR-CNRS 5025, 15 rue Maurice-Gignoux, 38031 Grenoble cedex, France

<sup>b</sup> IRD, Apartado 17 12 857, Quito, Équateur

<sup>c</sup> Labogeo Petroproducción, via a Salinas Km 6 ½, Guayaquil, Équateur

(Reçu le 14 septembre 1998, accepté après révision le 4 janvier 1999)

**Abstract**—The analysis of industrial seismic and well data of the Gulf of Guayaquil allows us to constrain the structure of the Gulf of Guayaquil. The main opening phase of the deepest South Ecuadorian Neogene and Quaternary fore-arc basin occurred during the Lower Pleistocene. It is located at the southern tip of the Dolores–Guayaquil megashear zone, between WNW–ESE normal faults and north–south transpressional structures. The processes from which it originated are similar to those of a pull-apart basin. It developed between the Dolores–Guayaquil megashear to the east, and the oblique convergent Nazca–South América plate boundary to the west. During the Upper Pleistocene, the sedimentation rate decreases drastically in relation to both the glaciation-related sea level falls and a transpressional event. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

fore-arc basin / tectonic / sedimentation rates / Neogene / strike-slip basin / Ecuador / Gulf of Guayaquil

**Résumé** — Des données de sismique réflexion et de forages d'origine industrielle permettent de préciser la structure du golfe de Guayaquil. La période majeure d'ouverture du plus profond bassin avant-arc des Andes centrales date du Pléistocène inférieur. Il se localise à la terminaison méridionale de la zone de décrochement Dolores–Guayaquil, entre des failles normales WNW–ESE et des structures transpressives nord–sud. Les mécanismes conduisant à son ouverture sont du type de ceux des bassins en *pull-apart*, avec une ouverture en relais entre la faille Dolores–Guayaquil, à l'est, et la zone de subduction à convergence oblique à l'ouest. Au Pléistocène supérieur, une chute brutale des taux de sédimentation est associée à la double influence de la régression mondiale, liée aux glaciations quaternaires, et d'un épisode transpressif. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

bassin d'avant-arc / tectonique / taux de sédimentation / Néogène / bassin sur décrochement / Équateur / golfe de Guayaquil

Q1ASSO.1

DEN

hn° 377

ORSTOM Documentation



020005353

Note présentée par Jean Dercourt.

\* Correspondance et tirés à part.

C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes / Earth & Planetary Sciences  
1999, 328, 181–187

181



010018142

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B 18142 Ex: 1

## Abridged version

The Gulf of Guayaquil, between the Peru and Ecuador, is the deepest Neogene and Quaternary fore-arc basin of the central Andes. It is located at the south end of the dextral Dolores-Guayaquil megashear zone (Marchant, 1961; Benitez, 1995), which marks the suture zone between the Ecuadorian coastal block of oceanic substratum accreted during Paleogene times at the South American continental margin (Benitez, 1995; Jaillard et al., 1995, 1997) (figure 1).

The analysis of unpublished petroleum data (seismic sections and wells) as well as new field trips realized as part of the research convention between the IRD (French Research Institute for the Development in cooperation) and the Ecuadorian state petroleum company Petroproducción, allowed us to map the structure of the Gulf of Guayaquil and to study its sedimentary filling. In this paper we present these new data and propose an opening and a tectonic and sedimentary evolution model. The geodynamic implications are discussed.

### Gulf of Guayaquil structure

The Gulf of Guayaquil is divided into two basins by the southern end of the dextral Dolores-Guayaquil megashear zone. This fault cuts the Isla Puna and goes on southwestward up to the Zorritos shelf where it generates the north-south structures of Santa-Clara and Amistad, which divide the Gulf into two parts (figure 2).

East of the Dolores-Guayaquil fault, the Jambeli basin is a half-graben with a monoclonal tip toward the northwest (Litton Ressources Group, 1986).

Westward, the Gulf of Guayaquil (*sensu stricto*) is limited to the north by the ESE-WNW trending and south dipping Posorja normal fault zone, to the south by the Zorritos shelf and to the west by the continental shelf-break marked at some places by mud diapirs. It is divided in two sub-basins by the east-west Esperanza structure, an antiform structure which expands on the top of a basculated block shoulder (figure 3a). The east side of this basin shows north-south *en échelon* folds, like the Amistad structure (figure 3b), which expands along the Dolores-Guayaquil strike-slip fault, here a subvertical positive flower structure (Harding, 1985), rooted in the substratum.

The development of the Gulf of Guayaquil along the NE-SW end of the Dolores-Guayaquil strike-slip zone, with ESE-WNW normal faulting and north-south *en échelon* transpressional structures shows that this basin is contemporary with NE-SW dextral strike-slip movements.

### Gulf of Guayaquil Pliocene to present sedimentary filling

The Pliocene to Lower Pleistocene sedimentary filling of the Gulf of Guayaquil is named the Puna Formation. Its lower part crops out in the coastal cliffs, north of the Isla Puna. At this location, the Puna Formation is composed of grey olive-green brittle clay, chalky brown yellow muddy silts, brittle brown fine sandstone, conglomerate with rounded pebbles and coquinas.

It shows estuarine upward-fining sequences with tidal sedimentary structures like flasers, herring bones and swell structures like hummocky cross stratifications. These structures present southwestward transport direction. The upper part of the Puna Formation is only known from wells and has the same characteristics of marine deltaic environment (figure 4).

The Upper Pleistocene and the Holocene are not described in outcrops. In wells and seismic sections they form two sequences: the first coarsening and thickening up which corresponds to regressive deposits dated from the Upper Pleistocene, and the second finning and thinning up which corresponds to transgressive deposits dated from the Holocene (figure 4).

### Sedimentation rates (figure 5)

Sedimentation rates were calculated with the organic matter maturation mathematical simulation software Genex (BEICIP-Franlab, 1995). Simulations were made on wells and constructed sedimentary columns at the depocenters based on the seismic interpretations. The biostratigraphies of the well were elaborated in Petroproducción Guayaquil (Ordoñez, 1991).

The main stage of deposition fits with the Lower Pleistocene which tapes the higher sedimentation rate ( $8\ 600 \text{ m} \cdot \text{My}^{-1}$  at the depocenter of the Gulf of Guayaquil and  $3\ 000$  at the depocenter of the Jambeli graben). This stage is followed by a drastic fall in the rate of sedimentation during the Upper Pleistocene (Biochronozone N 23, 1 My to 100 000 y BP) with values ranging from  $700$  to  $1\ 400 \text{ m} \cdot \text{My}^{-1}$ . The Holocene (Biochronozone N 23, 100 000 y BP to present) shows a new increase in the rates of sedimentation with values reaching  $4\ 500 \text{ m} \cdot \text{My}^{-1}$ .

### Geodynamic implications

The opening of the Gulf of Guayaquil began during the Pliocene and reached its height during the Lower Pleistocene, leading up to a deposition on the whole basin of  $4\ 000 \text{ m}$  of Plio-Pleistocene sediments. This important accommodation implies a tectonic origin of the subsidence. The extensional structures east-west and the transpressional structures north-south show that the Gulf of Guayaquil is related to the dextral slip of the Dolores-Guayaquil fault which is related to the northward migration of the Ecuadorian coastal block in the oblique subduction context. Off the Ecuadorian coast, the N80 oriented convergence vector (De Mets et al., 1989) and the N30 oriented trench lead up to a partition of the displacement (Beck, 1983): the normal component is absorbed by the subduction zone and the tangential component by the slip of dextral strike-slip parallel to the trench (Ryan and Scholl, 1989), like the major Dolores-Guayaquil fault.

The major fall of the sedimentation rates during the Upper Pleistocene may be linked to the world sea level fall related to the Quaternary glaciation (Haq et al., 1987) and to a transpressional event at the origin of the Zamboapaña Mountains, southwest of the Isla Puna, where some Pleistocene deposits can be

observed at the top, 300 m above sea level. The Holocene increase of the sedimentation rates may be linked to the post glaciation sea level rise (Haq et al., 1987) and to the tectonic subsidence increase related to the present transtensional slip of the Dolores-Guayaquil megashear (Winter, 1990; Dumont, 1996).

The Gulf of Guayaquil is a peculiar pull-apart basin which opens between the Dolores-Guayaquil strike-slip fault to the east and the oblique convergent subducting zone to the west. It works in a transtensional context with episodic compressional events, probably linked to the subduction characteristics off the Ecuadorian coast.

## 1. Introduction

Le golfe de Guayaquil, situé au sud de l'Équateur, est le plus profond des bassins d'avant-arc néogènes et quaternaires des Andes centrales (figure 1). Il se localise à la terminaison sud du faisceau de failles décrochantes Dolores-Guayaquil et Naranjal (Marchant, 1961 ; Benitez, 1995), qui se branche plus au nord sur la zone de suture du bloc côtier équatorien d'affinité océanique à la paléomarge sud-américaine (Juteau et al., 1977 ; Feininger et Bristow, 1980 ; Feininger, 1987). L'ensemble de blocs allochtones d'affinités océaniques, qui constituent le substratum du Golfe de Guayaquil, a été accrétré à la marge sud-américaine au cours de la dernière phase d'accrétion de matériel océanique connue en Équateur et datée du Paléogène (Jaillard et al., 1995, 1997 ; Benitez, 1995).

L'analyse de données de sismique réflexion et forages d'origine industrielles, ainsi que des travaux de terrain réalisés dans le cadre d'une convention de recherche

entre l'IRD (Institut français de recherche pour le développement en coopération) et la compagnie pétrolière d'état équatorienne Petroproducción, ont permis de cartographier les structures du golfe de Guayaquil et de reconstituer l'histoire de son remplissage sédimentaire. Dans cet article, nous présentons ces nouvelles données et proposons un modèle d'ouverture et d'évolution tectono-sédimentaire du golfe de Guayaquil. Les implications géodynamiques sont discutées.

## 2. Structure du golfe de Guayaquil (figure 2)

Le golfe de Guayaquil est divisé en deux bassins par la terminaison sud du décrochement dextre Dolores-Guayaquil (figure 2). En effet, cette faille traverse l'île Puna et se prolonge au sud-ouest, probablement jusqu'au seuil de Zorritos, le long des structures nord-sud Santa-Clara et Amistad, scindant le golfe de Guayaquil en deux ensembles.

À l'est, le bassin de Jambeli correspond à un hémigraben à basculement monoclinal vers le nord-ouest (Litton Ressources Group, 1986). La partie la plus profonde du graben suit la zone décrochante.

À l'ouest, le bassin du golfe de Guayaquil (*sensu stricto*) est limité au nord par le système de failles normales Posorja ESE-WNW à pendage sud, au sud par le seuil de Zorritos, et à l'ouest par le rebord de la plate-forme continentale, jalonné par endroits d'importants diapirs de boue. Il est divisé en deux sous-bassins par la structure Esperanza d'axe est-ouest, qui correspond à une anti-forme se développant sur l'épaulement d'un bloc basculé (figure 3a, coupe nord-sud). Le bord oriental de ce bassin est déformé par des plis en échelons nord-sud, comme la structure Amistad, (figure 3b, coupe est-ouest). Cet anticlinal se développe le long du décrochement Dolores-Guayaquil, qui se traduit ici par un système de failles subverticales enracinées dans le substratum et s'ouvrent en fleurs positives (Harding, 1985).

Le golfe de Guayaquil est donc divisé en deux bassins, qui se sont localisés le long de la terminaison NE-SW du décrochement Dolores-Guayaquil. Le développement de failles normales WNW-ESE et de structures transpressives nord-sud en échelon, montre qu'ils correspondent à des bassins contemporains d'importants mouvements décrochants dextres NE-SW.

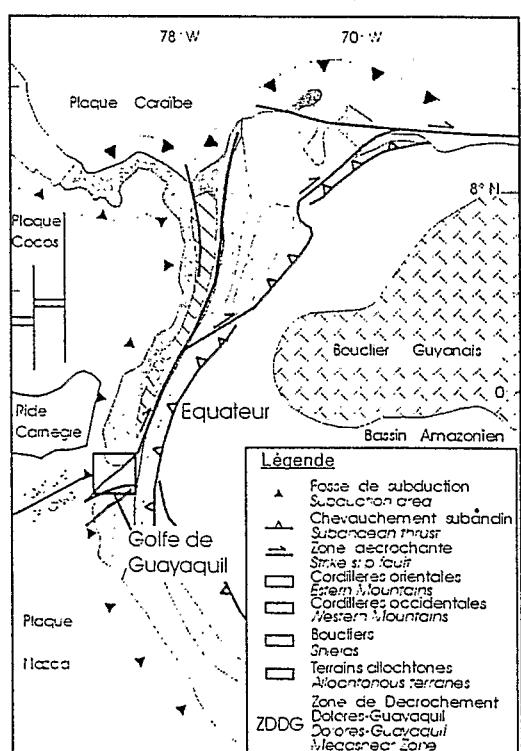


Figure 1. Cadre géodynamique de l'étude (d'après Boinet et al., 1985 ; modifié).

Geodynamic setting (after Boinet et al., 1985; modified).

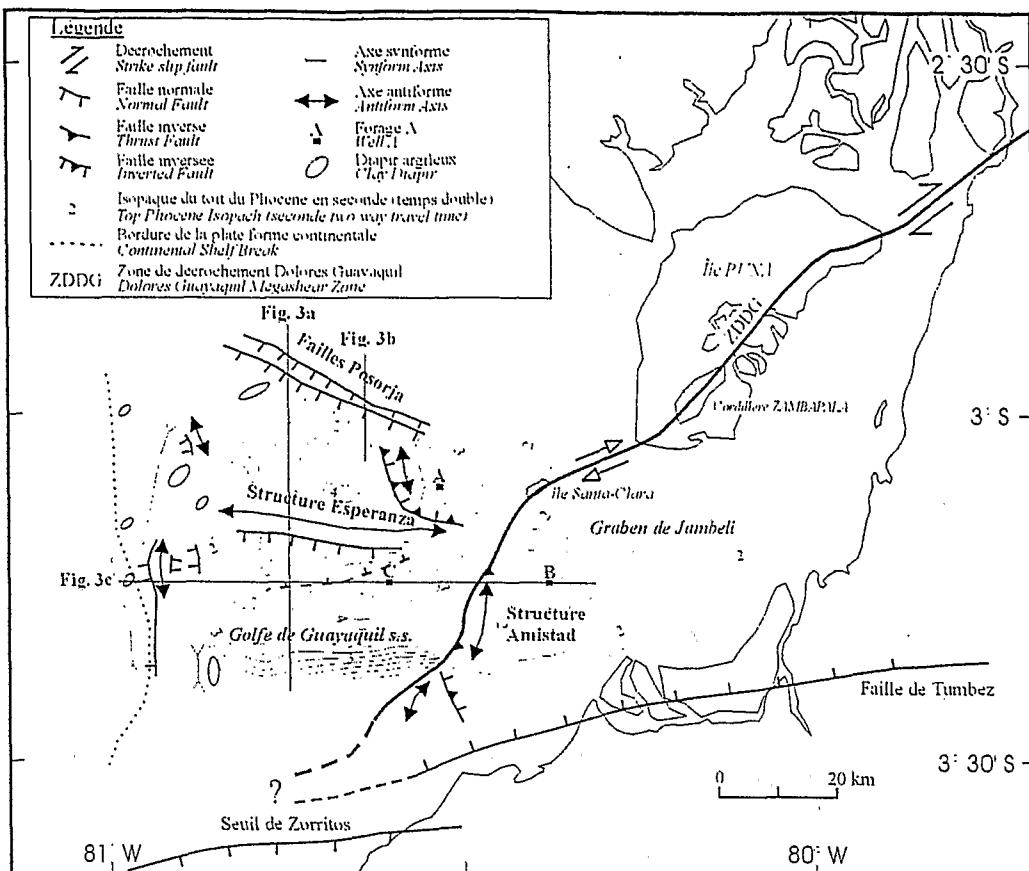


Figure 2. Structure du golfe de Guayaquil.

Structure of the Gulf of Guayaquil.

### 3. Remplissage sédimentaire pliocène à actuel du golfe de Guayaquil (figure 4)

Les forages réalisés dans le golfe de Guayaquil ont atteint le Miocène moyen à l'est, dans les plis en échelons et dans le Graben Jambeli, alors qu'à l'ouest, dans le golfe de Guayaquil s.s. ils n'atteignent que rarement le Miocène supérieur. Le maximum du remplissage sédimentaire bien daté dans le golfe de Guayaquil correspond donc aux dépôts d'âge Plio-Quaternaire.

Aux dépocentres, la série d'âge Pliocène et Pléistocène inférieur a ainsi une épaisseur d'environ 5 000 m. Elle correspond aux dépôts de la formation Puna (Pilsbry et Olsson, 1942 ; Hoffstetter, 1947 ; Baldock, 1982 ; Benítez, 1995), dont la partie inférieure affleure dans les falaises marines situées au nord de l'île Puna. Sur cette localité type, la formation Puna se compose d'argiles gris olive, friables, de siltites argileuses marron jaunâtre, parfois calcaires, de grès fins marrons et peu compacts, de conglomérats à galets ronds et de lumachelles de lamellibranches. Elle s'organise en séquences grano-décroissantes, comprenant des structures sédimentaires de chenaux estuariens, comme des structures de marées de type *flasers* et *Herring bones*, et des stratifications entrecroisées de type *Hummocky cross stratifications*. Ces structures montrent des sens de transport vers le sud-ouest. La partie supérieure de la formation Puna, reconnue en forage,

présente les mêmes caractéristiques sédimentaires et séquentielles (figure 4) d'environnement marin deltaïque de faible profondeur d'eau.

Le Pléistocène supérieur et l'Holocène ne sont pas décrits à l'affleurement. En forage et en sismique, ils apparaissent sous forme de deux séquences gréso-argileuses : la première grano- et strato- croissante, correspondant à des dépôts régressifs d'âge Pléistocène supérieur, et la seconde grano- et strato- décroissante, correspondant à des dépôts transgressifs d'âge Holocène (figure 4).

### 4. Taux de sédimentation

Les taux de sédimentation dans le golfe ont été modélisés au moyen du logiciel de simulation mathématique de maturation de roches mères Genex (Beicip-Franlab, 1995), permettant les reconstructions de température, de pression, de taux de subsidence de bassin et d'évolution de maturité et de composition de la matière organique. Ce calcul a été effectué à partir des données recueillies en forages dans le golfe, où les différentes formations sédimentaires sont bien définies, et de colonnes sédimentaires reconstituées à partir de l'interprétation sismique à proximité des dépocentres du bassin, afin d'obtenir le signal sédimentaire le plus fort.

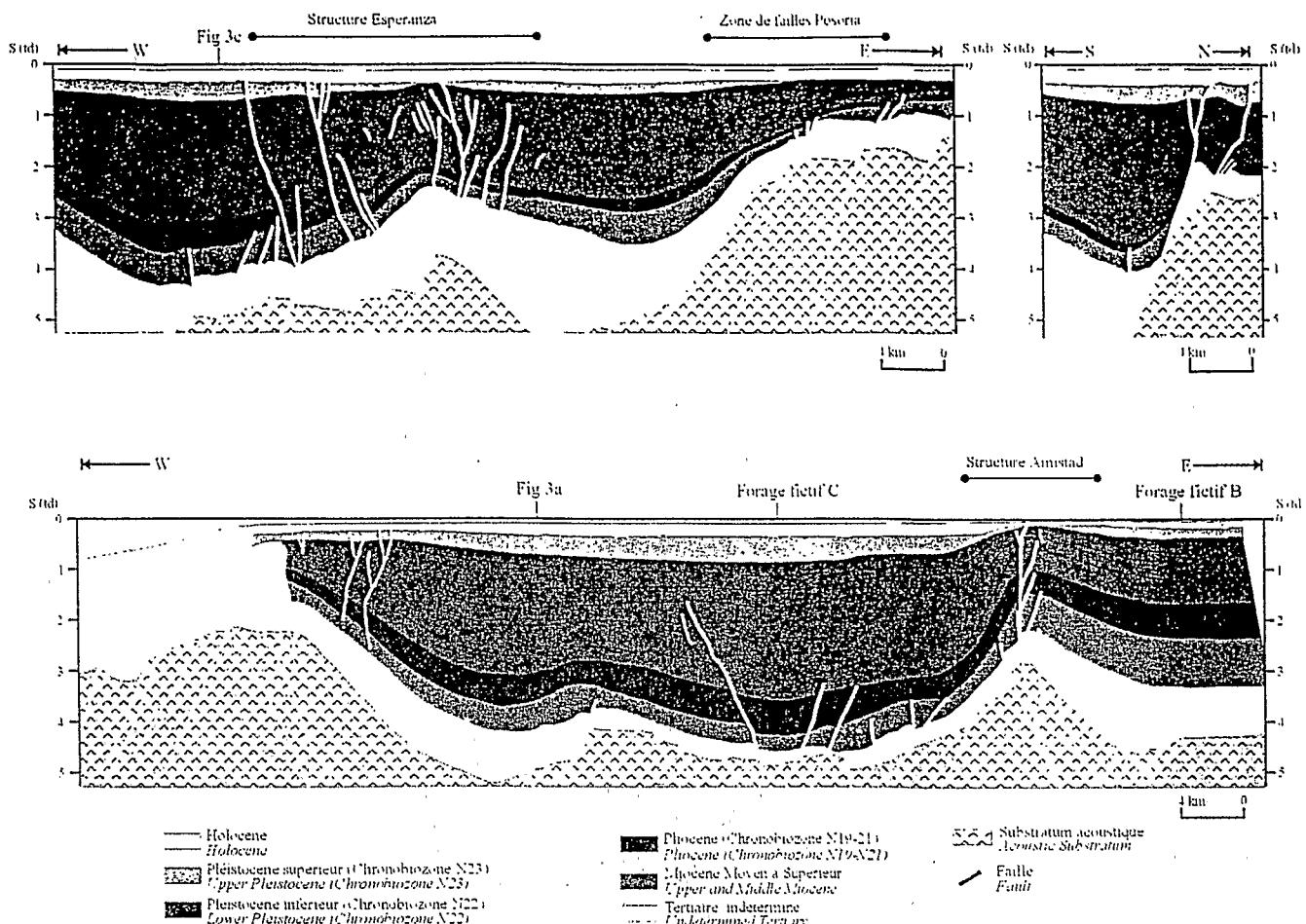


Figure 3. a. Coupe nord-sud du golfe de Guayaquil. b. Structure Posorja. c. Coupe est-ouest du golfe de Guayaquil.

a. North-south cross-section of the Gulf of Guayaquil. b. Posorja structure. c. East-west cross-section of the Gulf of Guayaquil.

La figure 5 présente ainsi les courbes d'évolution des taux de sédimentation de deux colonnes sédimentaires reconstruites à partir de l'interprétation de réflecteurs sismiques identifiés par le calage de forages dont l'étude biostratigraphique a été réalisée à Petroproducción Guayaquil (Ordoñez, 1991). Ces réflecteurs correspondent aux bases de l'Holocène, du Pléistocène supérieur (Biochronozone N23), du Pléistocène inférieur (Biochronozone N22, formation Puna supérieur), du Pliocène (Biochronozone N18 à N21, formation Puna inférieur) et de la base de la formation Progreso, d'âge Miocène moyen à supérieur (Biochronozone N10 à N18). Les profondeurs ont été calculées par l'application d'une courbe de conversion temps-profondeur, déterminée lors du calage des forages sur les sections sismiques.

Les taux de sédimentation les plus importants des bassins de Jambeli et du golfe de Guayaquil s.s. datent du Plio-Quaternaire (Biochronozone N18 à N23, 5,3 Ma à l'Actuel), avec des valeurs comprises entre 700 et 8 600 m·Ma<sup>-1</sup>, au moins deux fois supérieures à celles du Miocène moyen à supérieur (Biochronozone N10 à N18, 14 à 5,3 Ma BP).

L'étape principale d'ouverture correspond au Pléistocène inférieur (Biochronozone N22, 1,75 à 1 Ma BP) qui enregistre les plus forts taux de sédimentation (8 600 m·Ma<sup>-1</sup> au dépocentre du golfe de Guayaquil s.s., et 3 000 m·Ma<sup>-1</sup> dans le Graben Jambeli). Cette étape est suivie par une chute brutale de la sédimentation avec des taux variant entre 700 et 1 400 m·Ma<sup>-1</sup> au cours du Pléistocène supérieur (Biochronozone N23, 1 Ma à 100 000 ans BP). Enfin, l'Holocène (Biochronozone N23, 100 000 ans BP à l'Actuel) se caractérise par une nouvelle croissance des taux de sédimentation, qui atteignent des valeurs de 4 500 m·Ma<sup>-1</sup>.

## 5. Implications géodynamiques

L'ouverture du golfe de Guayaquil débute au Pliocène et atteint son paroxysme au Pléistocène inférieur, où sont enregistrés les plus fort taux de sédimentation (3 000 à 8 600 m·Ma<sup>-1</sup>). Elle s'étale sur une période d'un million d'année environ, durant laquelle se sont déposés, sur l'ensemble du bassin, plus de 4 000 mètres de sédiments d'âge Plio-Pléistocène (figure 4). L'importance de l'espace

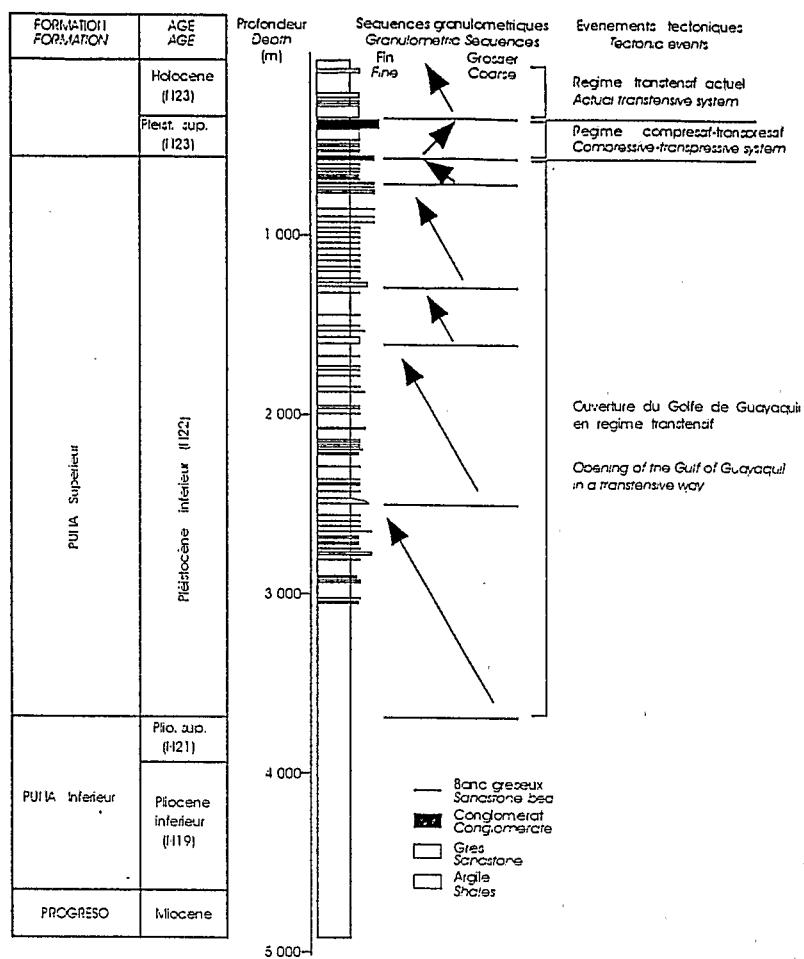


Figure 4. Stratigraphie et séquences du forage A du golfe de Guayaquil.

Stratigraphy and sequences in well A of the Gulf of Guayaquil.

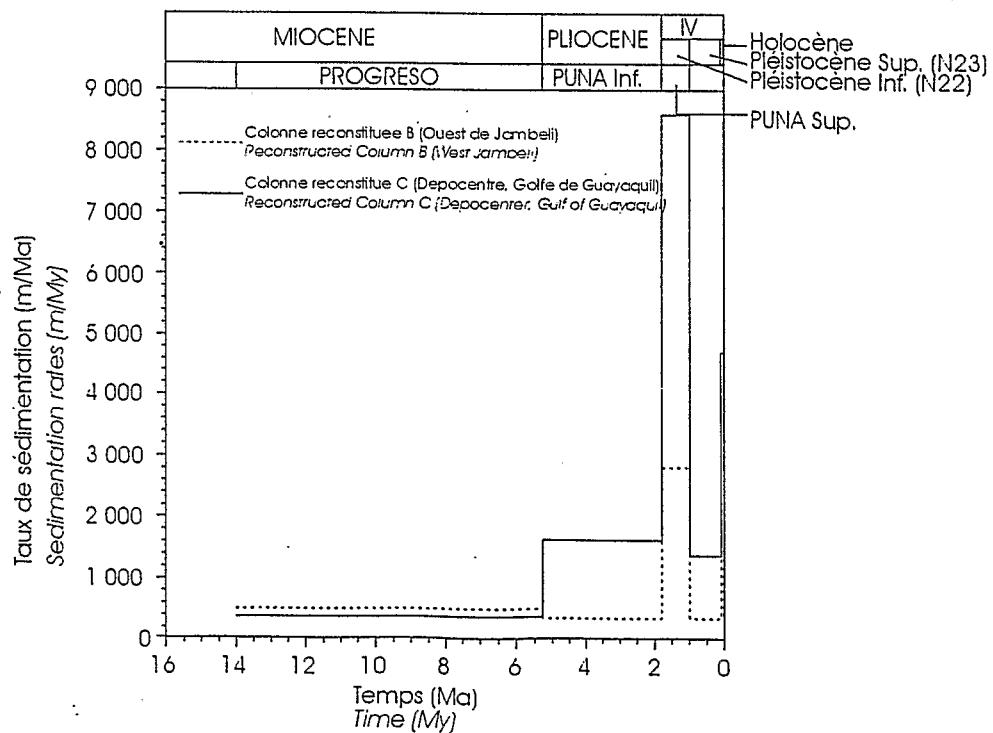


Figure 5. Taux de sédimentation des colonnes sédimentaires reconstituées B et C (calculés en utilisant le programme Genex).

Sedimentation rates of the reconstructed sedimentary columns B and C (calculated using GENEX software).

disponible à la sédimentation nécessaire à ces dépôts ne peut s'expliquer que par une origine tectonique de la subsidence, liée à la nature même du bassin. Les structures extensives nord-sud et transpressives est-ouest montrent, en effet, que le golfe de Guayaquil est un bassin sur décrochement, dont l'ouverture est étroitement liée au jeu dextre de la faille Dolores-Guayaquil qui accompagne la migration vers le nord du bloc côtier équatorien, dans un contexte de subduction oblique (Jarrard, 1986). Ainsi, au large de l'Équateur, l'orientation N 80 du vecteur de la convergence et N 30 de la fosse (De Mets et al., 1989) entraînent la partition des déformations (Beck, 1983) : la composante normale est absorbée par la subduction et la composante tangentielle par le jeu de décrochements dextres parallèles à la fosse (Ryan et Scholl, 1989) dont le plus important est la zone de failles Dolores-Guayaquil.

La chute brutale des taux de sédimentation au Pléistocène supérieur (*figure 4 et 5*) peut être associée à la double influence de la régression mondiale liée aux glaciations quaternaires (Haq et al., 1987) et d'un épisode transpressif à l'origine de la formation de la cordillère de Zambapala

au sud-est de l'île Puna (*figure 2*), où des dépôts d'âge Pléistocène à faciès de plage s'observent au sommet à une altitude de 300 m. Le retour de forts taux de sédimentation à l'Holocène (*figures 4 et 5*) serait lié à la transgression postglaciaire (Haq et al., 1987) et à la reprise d'une importante subsidence dans le Golfe, associée au jeu transtensif actuel de la zone décrochante Dolores-Guayaquil (Winter, 1990 ; Dumont, 1996).

Le bassin du golfe de Guayaquil s'apparente donc à un bassin de type *pull-apart*, qui s'ouvre en relais entre la faille Dolores-Guayaquil, à l'est, et la zone de subduction à convergence oblique, à l'ouest. Il fonctionne dans un contexte globalement transtensif, perturbé par des épisodes plus compressifs, dont l'origine est probablement à rechercher dans les caractéristiques de la subduction au droit de la marge équatorienne. Les influences de la ride Carnegie (*figure 1*), entrée en subduction au droit de la côte équatorienne au Pléistocène (Lonsdale, 1978 ; Ego, 1995), ou de la fracture de Grijalva située au droit du Golfe de Guayaquil (*figure 1*), ne sont sûrement pas négligeables et restent à préciser.

**Remerciements.** Les auteurs souhaitent remercier M. Rivadeneira pour son appui amical qui facilita la réalisation de ces travaux, et W. Vilema pour sa connaissance de l'Isla Puna et son aide précieuse sur le terrain.

## 6. Références

- Baldock J.W. 1982. *Geología del Ecuador: Boletín de la Exploración del mapa Geológico de la República del Ecuador, Esc 1:1 000 000*. Dirección General de Geología y Minas, Quito, Ecuador, 70 p.
- Beck Jr. M. E. 1983. On the mechanism of tectonic transport in zones of oblique subduction, *Tectonophysics*, 93, 1-11
- Benítez S.B. 1995. Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire, *Géologie Alpina*, 71, 208 p.
- Boinet T., Bourgois J., Mendoza H. et Vargas R. 1985. Le poinçon de Pamplona (Colombie) : un jalon de la frontière méridionale de la plaque caraïbe, *Bull. Soc. géol. France*, 8, I, 3, 403-413
- De Mets C., Gordon R.G., Argus D.F. et Stein S. 1989. Current plate motions, *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478
- Dumont I.-F., Benítez S., Ortíez L., Lavenu A., Guillier B., Alvarado A., Martínez C., Jouannic C., Toala G., Vivanco J. et Poli J.-T. 1996. Neotectonic of the coastal region of Ecuador: a new pluridisciplinary research project, in : *Third ISAG, Saint-Malo*, 175-178
- Ego F. 1995. Accommodation de la convergence oblique dans une chaîne de type cordilléenne, les Andes d'Équateur, *Thèse*, Université Paris-Sud, Orsay
- Feininger T. 1987. Allochthonous terranes in the Andes of Ecuador and northwestern Peru, *Can. J. Earth Sc.*, 24, 266-278
- Feininger T. et Bristow C. R. 1980. Cretaceous and Paleogene geologic History of Coastal Ecuador, *Geol. Rundsch.*, 69, 3, 849-874
- Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R. 1987. Chronology of fluctuating sea-level since the Triassic, *Science*, 235, 1156-1167
- Harding T.P. 1985. Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion, *AAPG Bull.*, 69, 4, 582-600
- Jaillard E., Benítez S. et Mascle G.H. 1997. Les déformations paléogènes de la zone d'avant-arc sud-équatorienne en relation avec l'évolution géodynamique, *Bull. Soc. géol. France*, 168, 4, 403-412
- Jaillard E., Ordóñez M., Benítez S., Berrones G., Jiménez N., Montenegro G. et Zambrano I. 1995. Basin Development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: Southern Coastal Ecuador during Late Cretaceous-Late Eocene time, in : Tankard A.J., Suarez S.R. et Welsink H.J. (éds), *Petroleum basins of South America*, AAPG, Memoir 62, 615-631
- Jarrard R.D. 1986. Terrane motion by strike-slip faulting of fore-arc slivers, *Geology*, 14, September 1986, 780-783
- Juteau T., Mégard F., Raharison L. et Whitechurch H. 1977. Les assemblages ophiolitiques de l'occident équatorien : nature pétrographique et position structurale, *Bull. Soc. géol. France*, 105, 1127-1132
- Litton Ressources Group. 1986. *The Gulf of Guayaquil Basin study. Integrated report*. Western Geophysical Company, Litton ressources group for CEPE, October 1986
- Lonsdale P. 1978. Ecuadorian Subduction System, *AAPG Bull.*, 62, 12, 2454-2477
- Marchant S. 1961. A photogeological analysis of the structure of the western Guayas province, Ecuador, with discussion of the stratigraphy and Tablazo formation derived from surface mapping, *Quat. J. Geol. Soc. London*, 114, 215-233
- Ordoñez, M. 1991. Bioestratigrafía y Paleoecología del Plio-Pleistoceno del Graben de Lambeli, *Thèse*, Université de Guayaquil, Équateur
- Pilshry H.A. et Olsson A.A. 1941. A Pliocene fauna from Western Ecuador, *Proc. Acad. Nat. Sc. Philad.*, XCIII, 1-79
- Ryan H.F. et Scholl D.W. 1989. The evolution of fore-arc structures along an oblique convergent margin, central Aleutian arc, *Tectonics*, 8, 3, 497-516
- Winter T. 1990. Mécanisme de déformation récente dans les Andes équatoriennes, *Thèse*, Université Paris-XI, Orsay, 167 p.