

Géomatériaux / *Geomaterials*

(Pétrologie / *Petrology*)

Géochimie / *Geochemistry*

Tectonique / *Tectonics*

# Accrétion paléogène et décrochement dextre d'un terrain océanique dans le Nord du Pérou

*Paleogene accretion and dextral displacement of an oceanic terrane in northern Peru*

Laurence Pecora<sup>a,b</sup>, Étienne Jaillard<sup>a,c</sup>, Henriette Lapierre<sup>d</sup>

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

<sup>b</sup> Géosciences Rennes, campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France

<sup>c</sup> IRD (ex-Orstom), CS 1, 211, rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France

<sup>d</sup> UPRES A CNRS 5025, Institut Dolomieu, 15, rue Maurice-Gignoux, 38031 Grenoble cedex, France

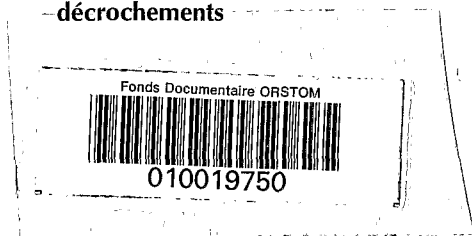
(Reçu le 25 mai 1999, accepté après révision le 26 juillet 1999)

**Abstract** — Western Ecuador is made up of oceanic allochthonous terranes accreted between the Late Cretaceous and the Late Paleocene. Boulders of calc-alkaline microdiorites are found in a Latest Paleocene–Earliest Eocene conglomerate exposed near Païta. The geochemistry of the microdiorites indicates that they developed in an intra-oceanic arc setting. Their occurrence in the conglomerate demonstrates that oceanic terranes were being eroded ~ 55 Ma ago in northwestern Peru. Since the closest oceanic terranes are presently located in Ecuador, i.e. 250 km farther north, these terranes have migrated NNE-ward along dextral wrench faults, at a minimum rate of 4.5 mm·yr<sup>-1</sup>. (© 1999 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS.)

**calc-alkaline lavas / oceanic terranes / accretions / forearc zone / Paleogene / wrench movements**

**Résumé** — L'Ouest de l'Équateur est formé de terrains allochtones d'origine océanique, accrétés entre le Crétacé supérieur et le Paléocène supérieur. La présence, dans la région de Païta, de galets de microdiorites issus d'un arc insulaire, resédimentés vers la limite Paléocène–Éocène, prouve que des terrains océaniques étaient à l'érosion vers 55 Ma dans le Nord-Ouest du Pérou. Les terrains océaniques les plus proches étant situés actuellement en Équateur, 250 km plus au nord, ils ont nécessairement dérivé le long de décrochements dextres, à une vitesse minimale de 4,5 mm·an<sup>-1</sup>. (© 1999 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS.)

**laves calco-alkalines / terrains océaniques / accrétions / zone d'avant-arc / Paléogène / décrochements**



Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B\*19750 Ex: 1

Note présentée par Jean Dercourt.

\* Correspondance et tirés à part.  
ejailiar@ujf-grenoble.fr

## Abridged version

### Introduction, geological framework

Northwestern South America is made up of accreted oceanic terranes, which are assumed to have been subsequently displaced along major dextral wrench faults (McCourt et al., 1984; Litherland et al., 1994; Toussaint and Restrepo, 1994; Aspden et al., 1995; Cosma et al., 1998; Jaillard et al., 1999). However, such movements are difficult to demonstrate and quantify.

The petrographic and geochemical study of boulders of magmatic origin from coarse-grained conglomerates of Latest Paleocene–Earliest Eocene age of the Paita area (NW Peru, *figure 1*) indicates that some of them are of oceanic origin. Since such boulders are lacking in the underlying deposits, they indicate that an accretion occurred prior to the Paleocene–Eocene boundary in northwestern Peru.

Western Ecuador comprises oceanic and continental terranes accreted to the South American margin (Litherland et al., 1994; Cosma et al., 1998). These terranes include oceanic plateaus overlain by island arc series of Cretaceous age (Goossens and Rose, 1973; Juteau et al., 1977; Kehrer and Van der Kaaden, 1979; Lebrat et al., 1987; Van Thournout et al., 1992; Cosma et al., 1998; Lapierre et al., 1999; Reynaud et al., 1999). They were accreted in the Late Cretaceous (Faucher and Savoyat, 1973; Kehrer and Van der Kaaden, 1979; Lebrat et al., 1987; Cosma et al., 1998) and in the Late Paleocene (~57 Ma; Jaillard et al., 1997; Cosma et al., 1998). In southern Ecuador (Guayaquil area), the latter event is locally marked by strong deformations which affect early Late Paleocene cherts and are concealed by unconformable, coarse-grained quartz-rich turbidites of Latest Paleocene age (Jaillard et al., 1997).

In the Paita area of northern Peru (*figure 1*), unconformable transgressive Campanian–Maastrichtian forearc deposits rework the metamorphic and sedimentary Paleozoic basement (*figure 2*; Olsson, 1944; Jaillard et al., 1999). The unconformably overlying fluvial to continental, coarse-grained conglomerates (Mogollón Fm) of Latest Paleocene–Early Eocene age (~56–52 Ma, Séranne, 1987; Morales, 1993), contain boulders of mafic magmatic rocks, whereas such boulders are lacking in the underlying deposits. The petrographic and geochemical study of five of these boulders indicates that some of them are of oceanic origin, thus indicating that a tectonic accretion of exotic oceanic terranes occurred in northwestern Peru near the Paleocene–Eocene boundary.

### Petrography and geochemistry of boulders of magmatic rocks from the Mogollón Formation (Paita basin)

#### Petrography and mineralogy

All the samples are affected by low-grade metamorphism. Plagioclase is sometimes altered to sericite while clinopyroxene is entirely replaced by pale green actinolitic hornblende and actinolite. Amphibole is replaced by chlorite and epidote.

Microdiorites are highly phyrical with plagioclase and clinopyroxene phenocrysts enclosed in a matrix entirely crystallized into actinolite and chlorite. The plagioclase clusters in

glomeroporphyritic aggregates. When preserved, it shows andesine to labradorite compositions. Fe–Ti oxides (5%) are either enclosed in the phenocrysts, or present in the groundmass.

The gabbro exhibits a cumulate texture with plagioclase (labradorite) as cumulus phases and clinopyroxene as intercumulus. The crystallization of the abundant Ti-rich magnetite begins after the plagioclase and continues while the clinopyroxene precipitates.

Finally, the granophyre is characterized by a pegmatitic texture with plagioclase laths embedded by quartz. Amphibole and epidote are accessory phases.

On the basis of the early or late appearance of the Fe–Ti oxides in the sequence of crystallization, microdiorites show calc-alkaline affinities while the gabbro is tholeiitic.

#### Geochemistry

Gabbro and microdiorites have low TiO<sub>2</sub> contents (<1.5%). The microdiorites are markedly depleted in Light Rare Earth Elements (LREE) relative to Heavy (H) REE [ $0.13 < (La/Yb)_{cn} < 0.76$ ] whereas the gabbro is slightly enriched in LREE relative to HREE [ $(La/Yb)_{cn} = 2.21$ ] (*figure 4A*). The granophyre has the highest  $(La/Yb)_{cn}$  ratio (4.3) (*figure 4B*).

The microdiorites, the gabbro and the granophyre show features of subduction-related rocks because, relative to N-MORB, they exhibit the classical Nb and Ta negative anomalies. Both rocks are depleted in Zr and Hf relative to N-MORB. However, the gabbro differs from the microdiorites by the absence of Ti negative anomaly (relative to N-MORB; *figure 4B*). The granophyre differs from the gabbro and microdiorites by higher contents in large ion lithophile elements (LILE), Th, Zr and Hf (*figure 4B*). Finally, the gabbro and microdiorites cluster in the oceanic arc tholeiite field defined by Pearce et al. (1983) while the granophyre plots in the shoshonitic domain (*figure 5*).

### Conclusions, tectonic implications

Petrographic and geochemical studies indicate that the microdiorites derived from a calc-alkaline magma depleted in incompatible elements. The gabbro differs from the diorites only by its tholeiitic composition. Therefore, these rocks emplaced most probably in an intra-oceanic island arc setting. With respect to the other samples, the granophyre is significantly enriched in LILE, Th, LREE, Zr and Hf. It may represent the product of an evolved island arc, or an active margin magmatism.

The first occurrence of island-arc-derived boulders in the Latest Paleocene–Earliest Eocene unconformable conglomerates of the Paita area confirms that the collision of an oceanic terrane occurred in the Late Paleocene, and indicates that it took place in northern Peru. Since the closest oceanic terrane presently crops out south of Guayaquil, i.e. 250 km north of Paita, the accreted terrane has shifted NNE-ward along dextral wrench faults at a minimum average rate of 4.5 mm·yr<sup>-1</sup>, since the Paleocene–Eocene (~55 Ma).

Such dextral wrench movements are documented for the Miocene, and an average rate of  $2.5 \pm 1 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  has been estimated for the Quaternary (Lavenue et al., 1994; Lions, 1995). This rate accounts for only 75 to 200 km since the Paleocene–Eocene boundary. Our data suggest, therefore, that dextral movements began well before the Miocene, and/or that the displacement rate was significantly higher than that calculated for recent times.

ne–Eocene boundary. Our data suggest, therefore, that dextral movements began well before the Miocene, and/or that the displacement rate was significantly higher than that calculated for recent times.

## 1. Introduction

Les zones occidentales des Andes septentrionales sont constituées de terrains océaniques accolés au continent sud-américain au cours de phases d'accrétion/collisions successives (McCourt et al., 1984 ; Toussaint et Restrepo, 1994 ; Cosma et al., 1998). L'existence de décrochements dextres de grande ampleur affectant ces terrains est suggérée par les données géologiques (e.g. Litherland et al., 1994 ; Toussaint et Restrepo, 1994 ; Aspden et al., 1995 ; Jaillard et al., 1999), mais sont très difficiles à démontrer et à quantifier.

Ce travail présente l'étude pétro-géochimique de galets remaniés vers la limite Paléocène–Éocène dans le Bassin Paita du Nord-Ouest du Pérou (figure 1). Ces conglomérats grossiers discordants scellent un événement tectonique important, et sont caractérisés par l'apparition d'éléments de roches basiques, absents des dépôts sous-jacents. L'origine océanique de certains de ces galets démontre que des reliefs océaniques ont été soudainement portés à l'érosion vers la limite Paléocène–Éocène, postérieurement à une phase tectonique.

## 2. Cadre tectonique et stratigraphique

L'Équateur comprend deux grands domaines géologiques (figure 1). À l'est, le bassin amazonien (Oriente), qui forme actuellement l'avant-pays des Andes d'Équateur, est bordé, à l'ouest, par la cordillère Orientale à matériel continental métamorphique (Litherland et al., 1994). Ces régions appartiennent à la plaque sud-américaine s.s.

Plus à l'ouest, la vallée interandine, la cordillère occidentale et la région côtière (Costa) sont formées de terrains exotiques, accrétés le long de trois sutures successives d'orientation actuelle SW–NE à nord–sud (figure 1). La plus ancienne, d'âge Jurassique supérieur – Crétacé inférieur (140–125 Ma), implique des terrains océaniques et continentaux (Litherland et al., 1994 ; Arculus et al., 1999).

Le substratum basique à ultrabasique de la région côtière et de la cordillère occidentale (Goossens et Rose, 1973 ; Juteau et al., 1977) est un plateau océanique d'âge Crétacé inférieur (~ 123 Ma, Lapiere et al., sous presse) ou plus ancien (Malone et al., 1999). Il est surmonté de séries volcaniques et volcanoclastiques d'arcs insulaires d'âge Crétacé supérieur (figure 2 ; Kehrer et Van der Kaaden, 1979 ; Lebrat et al., 1987 ; Van Thournout et al.,

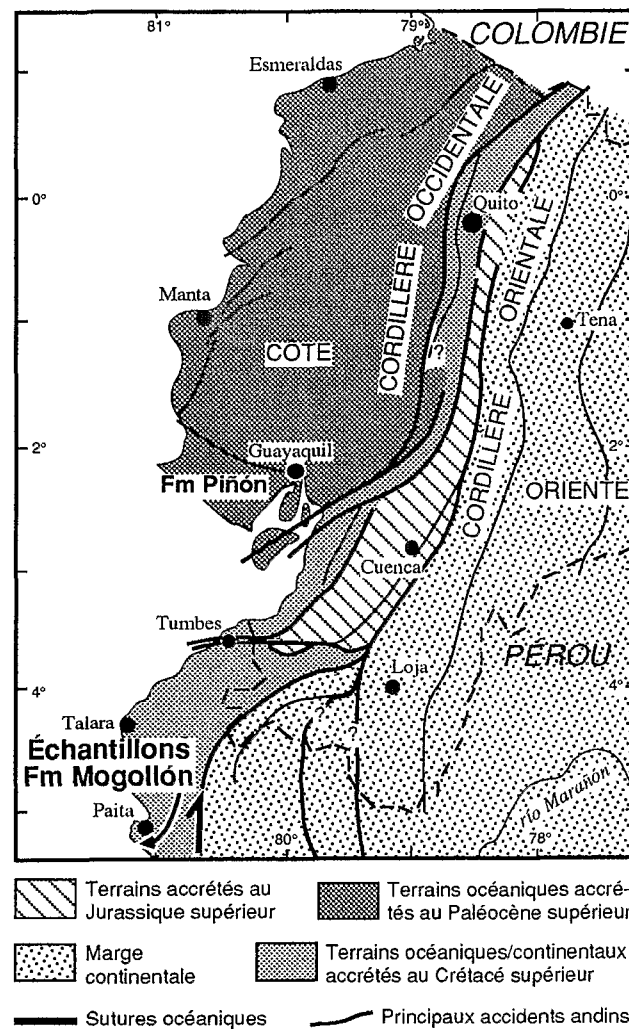


Figure 1. Schéma structural de l'Ouest de l'Équateur et du Nord du Pérou.

Structural sketch of western Ecuador and northern Peru.

1992 ; Cosma et al., 1998 ; Reynaud et al., 1999), sauf dans le Nord-Ouest de la côte (Manta, Esmeraldas, figure 1), où les sédiments tertiaires d'avant-arc le surmontent directement.

Au Santonien supérieur – Campanien inférieur, l'accrétion d'une partie de la cordillère occidentale à la marge équatorienne est soulignée par une discordance pré-maastrichtienne, et l'arrivée de quartz détritique, dans

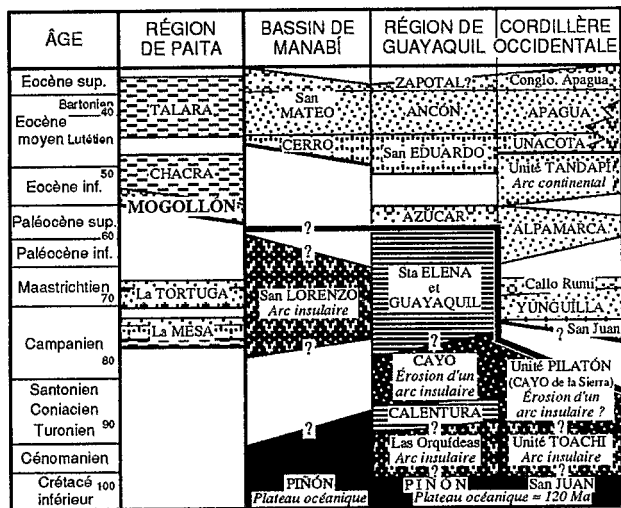


Figure 2. Cadre stratigraphique des terrains océaniques crétaqués de l'Ouest de l'Équateur et de la région de Paita (Nord-Ouest du Pérou). La ligne noire symbolise les épisodes d'accrétion, et sépare les séries ou dépôts océaniques (sombres) des séries riches en quartz détritiques (claires).

Stratigraphic framework of the accreted oceanic terranes of western Ecuador, and of the Paita area (NW Peru). The black line represents the accretion episodes; it separates the oceanic series (dark) from the quartz-rich detrital series (light).

certaines séries océaniques (Faucher et Savoyat, 1973 ; Kehrer et Van der Kaaden, 1979), par un saut d'arc marqué par le développement d'un nouvel arc insulaire dans la partie nord-ouest de la côte (figure 2 ; Jaillard et al., 1997 ; Cosma et al., 1998) et par un événement thermique dans la cordillère orientale (Litherland et al., 1994).

Une troisième collision survient au Paléocène supérieur (Jaillard et al., 1997). En effet, dans le Sud de la région côtière, des déformations compressives et cisailantes, qui affectent les dépôts datés du Maastrichtien au Paléocène moyen, sont scellées par des turbidites conglomératiques datées du Paléocène terminal – Éocène inférieur (Jaillard et al., 1997). Le développement de bassins d'avant-arc éocènes, dont les séries riches en quartz détritiques sont comparables sur l'ensemble de l'Occident équatorien, montre que les terrains océaniques sont alors définitivement accrétés (figure 2 ; Cosma et al., 1998).

La région de Paita appartient à la zone d'avant-arc du Nord du Pérou. Elle est marquée par des dépôts transgressifs d'avant-arc d'âge Campanien et Maastrichtien, remaniant le substratum paléozoïque sur lequel ils reposent en discordance (figure 2 ; Olsson, 1944 ; Jaillard et al., 1999). Les conglomérats fluviaux à marins de la formation Mogollón, datés dans le bassin de Talara du Paléocène terminal – Éocène inférieur (~ 56–52 Ma ; Séranne, 1987 ; Morales, 1993), reposent en discordance sur les sédiments du Crétacé terminal, et sont caractérisés par l'apparition de blocs de roche magmatique basique. Huit de ces blocs ont été échantillonnés, et les 5 les plus frais ont été analysés pour cette étude.

### 3. Pétrographie et géochimie des galets basiques de la formation Mogollón du bassin de Paita

Parmi les galets étudiés, on a distingué un gabbro (97-10), trois microdiorites (97-11, 97-14, 97-16) et un granophyre (97-13).

#### 3.1. Pétrographie et minéralogie

Les *microdiorites* récoltées dans le bassin Paita diffèrent peu les unes des autres. Elles sont affectées par un métamorphisme ne dépassant pas le faciès « schistes verts ». Les minéraux ferromagnésiens sont remplacés par de la chlorite (pennine) et de la zoizite, alors que les plagioclases sont en cours de séricitisation. Elles renferment environ 40 % de phénocristaux, et leur mésostase est entièrement recristallisée en actinote et chlorite. Les plagioclases (40 à 50 %), de type andésine–labrador, se présentent souvent en amas gloméro-porphyriques, alors que les pyroxènes sont généralement altérés en hornblende et actinote (20 à 40 %). On observe, en outre, deux générations d'oxydes ferro-titanés (5 %). Précoces, ils sont de petite taille et inclus dans les phénocristaux, alors que, lorsque leur cristallisation est tardive, ils sont plus grands et présents dans la mésostase.

Le *gabbro* est un cumulat où les plagioclases (45 % ; labrador) en cumulus sont cimentés par les clinopyroxènes (35 %) en intercumulus. Les pyroxènes sont presque entièrement remplacés par un feutrage de hornblende et d'actinote. Enfin, la cristallisation abondante des oxydes ferro-titanés (magnétites xénomorphes plurimillimétriques, 20 %) est tardive ; elle débute après la cristallisation des plagioclases et se poursuit pendant celle des pyroxènes.

Le *granophyre* présente une texture micropegmatitique graphique, formée par des baguettes de plagioclases saussuritisés (20 à 30 %) inclus dans du quartz orienté (40 %). Les minéraux accessoires sont des amphiboles, des chlorites et de la zoizite. Les quelques oxydes présents ont cristallisé en dernier.

En conclusion, en se fondant sur l'apparition précoce ou tardive des oxydes ferro-titanés dans la séquence de cristallisation des roches étudiées, on peut considérer que les microdiorites sont calco-alcalines, alors que le gabbro et le granophyre se rattachent à une lignée tholéitique.

#### 3.2. Géochimie des éléments majeurs et traces

Les analyses en éléments majeurs ont été réalisées au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy par ICP–ES. Les analyses en éléments traces ont été effectuées par ICP–MS au laboratoire de géochimie (Upres A 5025) de Grenoble par F. Keller. Les résultats de ces analyses sont reportés dans le tableau. Ils mettent en évidence une perte au feu faible, inférieure à 3 %. Tous les galets étudiés présentent des valeurs en  $TiO_2$  inférieures à 1,5 %.

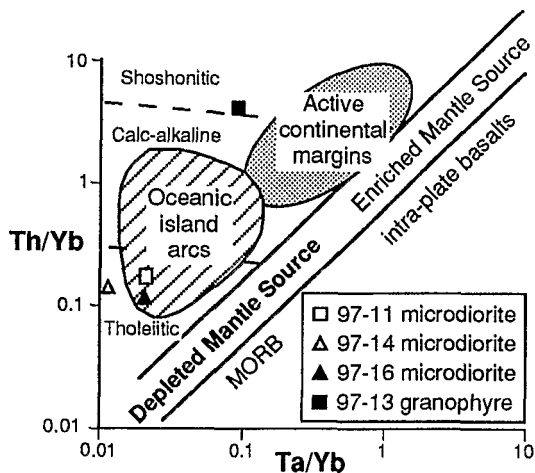


Figure 3. Diagramme discriminant Th/Yb en fonction de Ta/Yb pour les microdiorites et le granophyre (d'après Pearce, 1983).

Th/Yb vs. Ta/Yb diagrams for the microdiorite and granophyre boulders (after Pearce, 1983).

Les *microdiorites* se situent, dans le diagramme  $TiO_2-MnO_2 \times 10 - P_2O_5 \times 10$  (non présenté ici), dans le champ des laves calco-alkalines d'arc insulaire. Leurs teneurs en  $SiO_2$  (~ 48 %, tableau) et en  $MgO$  (< 5 %) sont faibles. Si on admet que  $MgO$  n'a pas été mobilisé au cours du métamorphisme, les faibles teneurs en  $SiO_2$  reflèteraient un lessivage de cet élément. Ces roches sont plus ou moins fortement appauvries en terres rares légères (LREE) par rapport aux terres rares lourdes (HREE) [ $0,1 < (La/Yb)_{CN} < 0,7$ ; tableau; figure 4A; Sun et McDonough, 1989]. Cet appauvrissement est lié à l'abondance des clinopyroxènes, minéraux appauvris en LREE. Une microdiorite (97-11) diffère des autres par une anomalie positive en Eu ( $Eu/Eu^* = 1,04$ ), indiquant une accumulation de la phase feldspathique. Les spectres multi-éléments normalisés aux N-Morbs (figure 4B; Sun et McDonough, 1989) présentent les anomalies négatives en Ta, Nb et Ti classiques des magmas formés en convergence de plaques. De plus, par rapport aux N-Morbs, ces roches sont appauvries en Zr et Hf, et leurs teneurs en Th ne dépassent guère celles de basaltes océaniques. Ceci indique qu'elles dérivent d'une source relativement appauvrie, ce qui est d'ailleurs confirmé dans le diagramme Th/Yb en fonction de Ta/Yb de Pearce (1983), où ces roches occupent le champ des tholéiites d'arcs insulaires (figure 3).

Le *gabbro*, comme les microdiorites, présente les anomalies en Nb, Ta et Ti classiques des magmas orogéniques (figure 4B). Cependant, il diffère des microdiorites par un spectre légèrement enrichi en LREE par rapport au HREE (figure 4A). Cet enrichissement est probablement lié à l'abondance des plagioclases (minéraux enrichis en LREE) par rapport aux clinopyroxènes. Les concentrations basses en Zr, Hf et Th sont dues au caractère cumulatif de ce gabbro, mais pourraient aussi indiquer qu'il dérive d'une source appauvrie.

Le *granophyre* est très riche en alcalins ( $K_2O = 3,32$  %,  $Na_2O = 3,51$  %). Il présente un spectre de REE normalisé

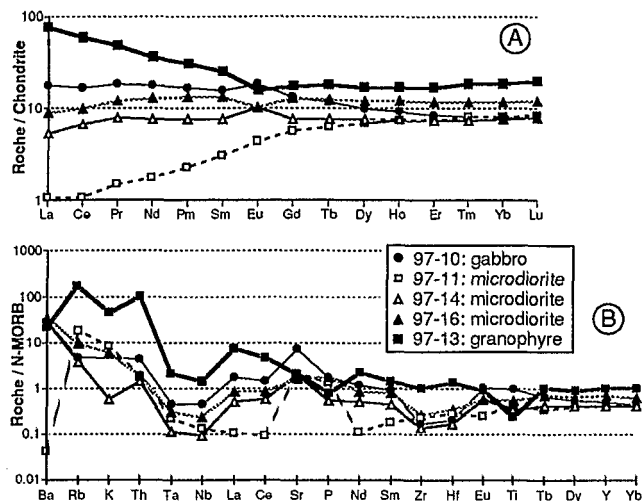


Figure 4. Spectres normalisés aux chondrites (A) et aux N-Morbs (B) (d'après Sun et McDonough, 1989) des galets de la formation Mogollón.

Chondrite normalized (A) and N-MORB normalized (B) spidergrams (after Sun and McDonough, 1989) of the boulders from the Mogollón Formation.

aux chondrites (figure 4B), fortement enrichi en LREE par rapport aux HREE [ $(La/Yb)_{CN} = 4,12$ ]. Par ailleurs, la légère anomalie positive en Eu indique un fractionnement des plagioclases ( $Eu/Eu^* = 0,77$ ). Cette roche acide appartient, comme les microdiorites et le gabbro, aux séries formées en convergence de plaque, puisque l'on observe aussi dans cette roche les appauvrissements en Ta, Nb et Ti par rapport aux N-Morbs (figure 4B). Cependant, ce granophyre diffère des autres échantillons par un enrichissement en éléments lithophiles (LILE comme K et Rb) et tout particulièrement en Th. Compte tenu de la mobilité des éléments alcalins (K, Rb) dans les processus d'altération et de métamorphisme, l'enrichissement en K n'est peut-être pas significatif. C'est pourquoi nous avons utilisé le diagramme Nb en fonction de Y, préconisé par Pearce et al. (1984) pour les roches acides. Dans ce diagramme (figure 5), ce granophyre se place dans le domaine des granites d'arc et de collision.

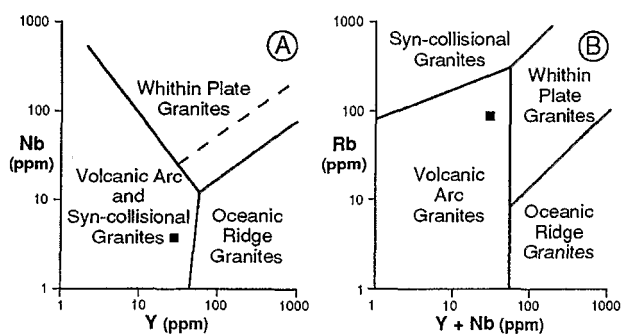


Figure 5. Position du granophyre 97-13 dans les diagrammes discriminants Nb en fonction de Y (A) et Rb en fonction de (Y+Nb) (B) pour les granites (d'après Pearce et al., 1984).

Plot of the granophyre 97-13 in the Nb vs. Y (A) and Rb vs. (Y+Nb) (B) diagrams for granites (after Pearce et al., 1984).

**Tableau. Teneurs en éléments majeurs (%) et en traces (ppm) des 5 galets analysés.**

Contents in major (%) and trace (ppm) elements of the 5 boulders studied.

Localisation : Pérou septentrional					
Numéro d'échantillon	97-10	97-11	97-13	97-14	97-16
Nom	Gabbro	Microdiorite	Granophyre	Microdiorite	Microdiorite
Formation	Mogollón	Mogollón	Mogollón	Mogollón	Mogollón
Localité	Bassin Païta	Bassin Païta	Bassin Païta	Bassin Païta	Bassin Païta
Analyse des éléments majeurs (en %)					
SiO <sub>2</sub>	43,06	48,52	69,94	47,64	47,02
TiO <sub>2</sub>	1,23	0,54	0,29	0,41	0,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,38	21,84	13,78	17,76	15,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,4	8,39	3,54	9,03	16,55
MnO	0,11	0,12	0,05	0,21	0,24
MgO	5,49	3,92	1,03	8,52	4,45
CaO	14,85	11,68	3,06	13,97	12,73
Na <sub>2</sub> O	0,75	1,97	3,51	1,02	1,68
K <sub>2</sub> O	0	0,59	3,32	0,04	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2	0,15	0,09	0,06	0,2
H <sub>2</sub> O	1,43	2,07	1,15	1,2	0,81
Total	99,9	99,79	99,76	99,86	99,88
Analyse des éléments en traces (en ppm)					
Ba	187	0,26	144	182	217
Rb	2,58	10,25	98	2,16	5,47
Sr	671	190	191	179	146
Ta	0,059	0,029	0,29	0,015	0,04
Th	0,54	0,22	12,05	0,17	0,22
Zr	12,62	16,79	78	10,37	19,53
Nb	1,04	0,29	3,44	0,21	0,52
Y	14,16	11,74	29	11,82	19,48
Hf	0,41	0,56	2,83	0,34	0,68
Co	34	35	7,79	37	38
U	0,18	0,27	2,83	0,13	0,23
La	4,31	0,26	18,85	1,28	2,15
Ce	10,66	0,67	36,94	4,19	6,36
Pr	1,74	0,14	4,67	0,75	1,17
Nd	8,41	0,83	17,14	3,64	6,12
Sm	2,43	0,46	3,79	1,15	2,04
Eu	1,07	0,25	0,92	0,59	0,6
Gd	2,71	1,17	3,5	1,53	2,59
Tb	0,43	0,23	0,67	0,28	0,46
Dy	2,53	1,76	4,17	1,9	3
Ho	0,53	0,42	0,94	0,43	0,68
Er	1,37	1122	2,74	1,22	1,92
Tm	0,21	0,21	0,47	0,19	0,3
Yb	1,31	1,32	3,09	1,26	1,9
Lu	0,2	0,21	0,5	0,2	0,3
Rapports					
(La/Sm) <sub>n</sub>	1,117	0,356	3,131	0,701	0,664
(La/Yb) <sub>n</sub>	2,221	0,133	4,118	0,686	0,764
Eu/Eu*	1,275	1,042	0,772	1,360	0,798
Nb/Ta	17,627	10,000	11,862	14,000	14,130
Zr/Hf	30,780	29,982	27,562	30,500	28,721
Hf/Th	0,759	2,545	0,235	2,000	3,091

#### 4. Conclusions, implications tectoniques

L'étude pétrographique et géochimique des galets échantillonnés dans la formation Mogollón révèle qu'ils proviennent tous d'un environnement de convergence de plaque.

Les trois microdiorites proviennent d'un magma calco-alcalin appauvri en éléments incompatibles, et donc vraisemblablement issu d'une source mantellique peu ou pas contaminée par un composé crustal (sédiments subductés). Le gabbro ne diffère des diorites que par sa nature tholéiitique. Ces roches appartiennent donc vraisemblablement à un arc insulaire intra-océanique.

Enfin, le granophyre diffère des autres roches par son caractère enrichi en Th et en terres rares légères. Il pourrait appartenir au même environnement géodynamique d'arc insulaire que les autres roches, mais caractériserait un stade plus évolué de l'arc. Ou alors, il appartiendrait à un magmatisme de marge active.

Dans la région de Guayaquil, la collision d'un terrain constitué d'un plateau océanique (formation Piñón) surmonté de séries d'arc insulaire, est datée du Paléocène supérieur (~ 57 Ma ; Jaillard et al., 1997). L'apparition de galets d'origine océanique dans la formation Mogollón (Paléocène terminal – Éocène inférieur), dans une région qui en était dépourvue jusque-là, confirme l'âge Paléocène supérieur de la collision. Les galets d'affinité calco-alcaline résédimentés dans la région de Paita pourraient provenir d'un des arcs insulaires surmontant le plateau océanique (arcs Las Orquídeas, Cayo ou San Lorenzo, figure 2), caractérisés par un volcanisme calco-alcalin (Reynaud et al., 1999).

De plus, ils indiquent que la collision a eu lieu dans le Nord-Ouest du Pérou, alors que le terrain océanique accrété le plus proche géographiquement affleure actuel-

lement au sud de Guayaquil, c'est-à-dire à environ 250 km au nord de Paita. Cette observation implique que les terrains océaniques accrétés aient dérivé vers le NNE le long de décrochements dextres. Ce déplacement atteint au minimum 250 km depuis le Paléocène terminal (~ 55 Ma), soit une vitesse moyenne minimale d'environ 4,5 mm-an<sup>-1</sup>.

L'activité de tels accidents dextres est bien établie depuis le Miocène, et leur jeu est estimé à 2,5 ± 1,1 mm-an<sup>-1</sup> au cours du Quaternaire (Lavenue et al., 1994 ; Lions, 1995). Cette dernière vitesse expliquerait une migration de 30 à 90 km depuis le début du Miocène (~ 24 Ma), ce qui est insuffisant pour rendre compte du déplacement observé. Les déplacements vers le nord des terrains accrétés ont donc commencé bien avant le Miocène, probablement dès l'Éocène.

De même, la vitesse estimée pour le Quaternaire impliquerait un déplacement de seulement 75 à 200 km vers le nord depuis la limite Paléocène-Éocène. Nos résultats (estimations minimales) montrent donc que la vitesse moyenne des déplacements dextres depuis l'Éocène a été sensiblement plus élevée que pendant la période récente.

**Remerciements.** Les missions de terrains et les analyses ont été financées par l'IRD (ex-Orstom), l'Institut de minéralogie et pétrographie (université de Lausanne) et l'Upres A 5025 (Grenoble). Nous tenons à remercier F. Keller et F. Cœur (Grenoble) pour leur contribution aux analyses.

## 5. Références

- Arculus R.J., Lapierre H. et Jaillard É. 1999. A geochemical window into subduction-accretion processes: the Raspas metamorphic complex, Ecuador, *Geology*, 27, 547-550
- Aspden J.A., Bonilla W. et Duque P. 1995. The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits, *Overseas Geology and Mineral Resources*, Brit. Geol. Surv. publ., 67, 63 p.
- Cosma L., Lapierre H., Jaillard E., Laubacher G., Bosch D., Desmet A., Mamberti M. et Gabriele P. 1998. Pétrographie et géochimie des unités magmatiques de la cordillère occidentale d'Équateur (0°30'S) : implications tectoniques, *Bull. Soc. géol. France*, 169, 739-751
- Faucher B. et Savoyat E. 1973. Esquisse géologique des Andes de l'Équateur, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 15, 115-142
- Goossens P. et Rose W. 1973. Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the basic Cretaceous Complex, Ecuador, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 84, 1043-1052
- Jaillard E., Mascle G. et Benítez S. 1997. Les déformations paléogènes de la zone d'avant-arc sud-équatorienne en relation avec l'évolution géodynamique, *Bull. Soc. géol. France*, 168, 403-412
- Jaillard É., Laubacher G., Bengtson P., Dhondt A. et Bulot L. 1999. Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc 'Celica-Lancones Basin' of southwestern Ecuador, *J. South Amer. Earth Sci.*, 12, 51-68
- 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*, 19, 1127-1132
- Kehrer W. et Van der Kaaden G. 1979. Notes on the Geology of Ecuador with special reference to the Western Cordillera, *Geol. Jahrbuch*, 35, 5-57
- Lapierre H., Dupuis V., Bosch D., Polvé M., Maury R.C., Hernandez J., Monié P., Yéghicheyan D., Jaillard É., Tardy M., Mercier de Lépinay B., Mamberti M., Desmet A., Keller F. et Sénebier F. Multiple plume events in the genesis of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province, *J. Geophys. Res.*, sous presse
- Lavenue A., Noblet C. et Winter T. 1994. Neogene ongoing tectonics in the southern Ecuadorian Andes. Analysis of the evolution of the stress field, *J. Struct. Geol.*, 17, 47-58
- Lebrat M., Mégard F., Dupuy C. et Dostal J. 1987. Geochemistry and tectonic setting of pre-collision Cretaceous and Paleogene volcanic rocks of Ecuador, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 99, 569-578
- Lions R. 1995. Évolution géodynamique d'un bassin d'avant-arc néogène en contexte décrochant : l'ouverture du golfe de Guayaquil (Équateur), *Mém. DEA*, université Grenoble-1, 83 p.
- Litherland M., Aspden J.A. et Jemielita R.A. 1994. The metamorphic belts of Ecuador, *British Geological Survey, Overseas Memoir*, Brit. Geol. Surv. publ., 11, 147 p.
- Malone P., Fantin F., Rossello E. et Miller M. 1999. Stratigraphic characterization of the Ancón Group using seismic data (Santa Elena Peninsula, Ecuador), *4th Internat. Symp. Andean Geodyn.-ISAG*, Göttingen, IRD (ex-Orstom) publ.
- McCourt W.J., Aspden J.A. et Brook M. 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion, *J. Geol. Soc. London*, 141, 831-845
- Morales W. 1993. Reinterpretación geológica del area de Lagunitos (NW Perú) en base a sísmica reflexión, in: *Proc. 3rd INGEPEP*, INGP-055, Lima, 1-19
- Mullen E.D. 1983. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 62, 53-62
- Olsson A.A. 1944. Contributions to the Paleontology of Northern Peru. Part VII: The Cretaceous of the Paita region, *Bull. Amer. Paleontology*, 28, 113 p.
- Pearce J.A. 1983. The role of sub-continental lithosphere in

magma genesis at destructive plate margins, in : Hawkesworth C.J. et Norry M.J. (éds), *Continental basalts and mantle xenoliths*, 230–249

Pearce J.A., Harris N.B.W. et Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *J. Petrol.*, 25, 956–983

Reynaud C., Jaillard É., Lapiere H., Mamberti M. et Mascle G.H. 1999. Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America, *Tectonophysics*, 307, 235–254

Séranne M. 1987. Évolution tectono-sédimentaire du bassin de Talara (nord-ouest du Pérou), *Bull. Inst. Fr. Études And.*, 16, 103–125

Sun S.S. et McDonough W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for the mantle composition and processes, in : Saunders A.D. et Norry M.J. (éds.), *Magmatism in the ocean basin*, *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 42, 313–345

Toussaint J.-F. et Restrepo J.-J. 1994. The Colombian Andes during Cretaceous times, in: Salfity J.A. (éd.), *Cretaceous tectonics in the Andes*, *Earth Evol. Sci.*, Fried. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Wiesbaden, 61–100

Van Thournout F., Hertogen J. et Quevedo L. 1992. Allochthonous terranes in northwestern Ecuador, *Tectonophysics*, 205, 205–221