

Un événement tectonique néogène majeur dans les Andes du Sud de l'Equateur. Déformation synsédimentaire dans le bassin de Nabón

Roger Baudino, Alain Lavenu et Jean Delfaud

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 319, série II,
p. 127 à 133,
1994

Résumé Le changement d'orientation des contraintes affectant des accidents régionaux NE-SW et N-S est un événement tectonique majeur enregistré par les sédiments néogènes du bassin de Nabón. Il est à l'origine de son évolution en deux étapes. Reconnu dans d'autres bassins néogènes du Sud de l'Equateur et du Nord du Pérou, il s'agit d'un événement régional mais peut-être diachrone.

Mots-clés : Andes, Equateur, Néogène, Déformation synsédimentaire, Bassin intramontagneux

R. B. et J. D. : LGMBS-IPRA, UPPA,
avenue de l'Université, 64000 Pau,
France;

A. L. : ORSTOM, UR 1H,
213, rue La Fayette, 75480 Paris,
France,
et LGMBS-IPRA, UPPA, avenue de
l'Université, 64000 Pau, France.

Abstract **A major Neogene tectonic event in the Southern Ecuadorian Andes. Synsedimentary deformation from Nabón Basin**

Change in stress orientation affecting regional NE and N striking faults is a major tectonic event exhibited by the Neogene continental deposits of the Nabón Basin. It is responsible for its evolution in two stages. Identified in other andean neogene basins of the Northern Andes it is a regional, but perhaps diachronous, event.

Keywords : Andes, Ecuador, Neogene, Synsedimentary deformation, Intermontane basin.

**Abridged
English
Version**

INTRODUCTION

THE Neogene evolution of the Andes is characterized by the formation of intermontane sedimentary basins which bear a record of contemporaneous tectonic events (Mégard, 1987; Marocco *et al.*, 1994). These basins are tectonically controlled by reactivated structures. From this point of view the Neogene basin of Nabón is important as a part of a group of basins located in the south of the Ecuadorian Andes along NE and N striking faults (figure 1). Stratigraphical, sedimentological and structural analysis leads to a genetical model, to envisage how reactivated structures acted and to understand the role of the main tectonic event. Analogies with other Neogene basins of Southern Ecuador suggest a regional model.

STRATIGRAPHY AND SEDIMENTOLOGICAL EVOLUTION

The basin is floored by ignimbrites of the extensive Saraguro Fm. of Upper Miocene age (*see* Lavenu *et al.*, 1992). The basin infilling, or

Nabón Formation (Bristow, 1976), is about 800 m thick. A first division was proposed by Winkler *et al.* (1993). We use a different one, in five units, based on stratigraphical and cartographical evidence (figure 1). Unit 1 is composed of pyroclastics and reworked tuffs overlain by braided river deposits transported from South to North. Thick deposits outside the present limits of the basin indicate a larger extension. This unit corresponds to the base-ment of Winkler's Iguincha Fm. and was dated 22.3 ± 1.3 Ma. Unit 2 is separated from unit 1 by an unconformity and consists of a lahars succession. It is superimposed on the previous one and it is not a lateral variation of facies as suggested by Winkler *et al.* Unit 3, limited to the south by the previous lahars which formed a palaeorelief, consists of lacustrine deposits with intercalated sandy bars (prograding East) at the base and an increment of volcanoclastic material (flowing towards the West) upward. Change in flow direction shows an inversion of relief, located first on the western edge and then on the eastern one. Unit 4 is composed

Note

présentée par
Jean Dercourt.

remise le 15 novembre 1993,
acceptée après révision
le 14 avril 1994.

of fluvial sequences with palaeosoils and rare diatomites. It corresponds to an alluvial plain depositional environment, fed from the eastern edge, and not to a true lacustrine one as suggested by Winkler *et al.* Unit 4 is of Upper Miocene age (Bristow, 1976; Madden, 1990). Progressively, with progradation, sedimentation changes to the proximal-fluvial and alluvial fan deposits of Unit 5 dated at 10.3 Ma (Madden, 1990) and 7.9 ± 0.6 Ma (Winkler *et al.*, 1993). During the deposition of unit 5 the west prograding system started with Unit 4 continued, supplied by activated relief on an edge that had become active. The basin fill deposits are topped unconformably by pyroclastics dated in 6.3 ± 0.5 Ma (Winkler *et al.*, 1993).

SYNSEDIMENTARY TECTONICS

Two Neogene tectonic events were responsible for synsedimentary deformation. The first, which resulted from a NE trending shortening (figure 2, A, D), occurred during early Miocene (Unit 1). The longest, caused by an E-trending shortening (figure 2, B, C, E, F) was coeval with the deposition of the remaining basin fill. It was responsible for remarkable progressive unconformities whose analysis indicates a displacement of the deformation from the western to the eastern edge. Lately, the

basin fill was folded in a large and wide NE-striking kilometric syncline along the western faulted edge, maybe because of a recent reactivation.

COMPARISON WITH OTHER NEOGENE CONTINENTAL BASINS OF SOUTHERN ECUADOR. CONCLUSION

Evolution of facies, ages, and deformations shows analogies between the Nabón, Cuenca and Girón basins (Noblet *et al.*, 1988; Mediavilla, 1991). They are flooded by the Oligocene volcanoclastic Saraguro Fm. (figure 3). Lower infilling started at early Miocene, with braided river and local alluvial fan deposits transported from south to north. It is unconformably overlain by coarsening- and thickening-upward deposits from the end of Lower Miocene to Upper Miocene but there might exist a diachronism from one basin to another. The tectonic evolution is also similar with two main synsedimentary tectonic events responsible, one for opening, the other for closing. The geodynamic evolution of the Nabón basin is similar to that of other basins of the South Ecuadorian Andes. It shows two stages, opening and closing, related to a major tectonic event. This evolution is also known in basins of Northern Peru (Bellier *et al.*, 1989).

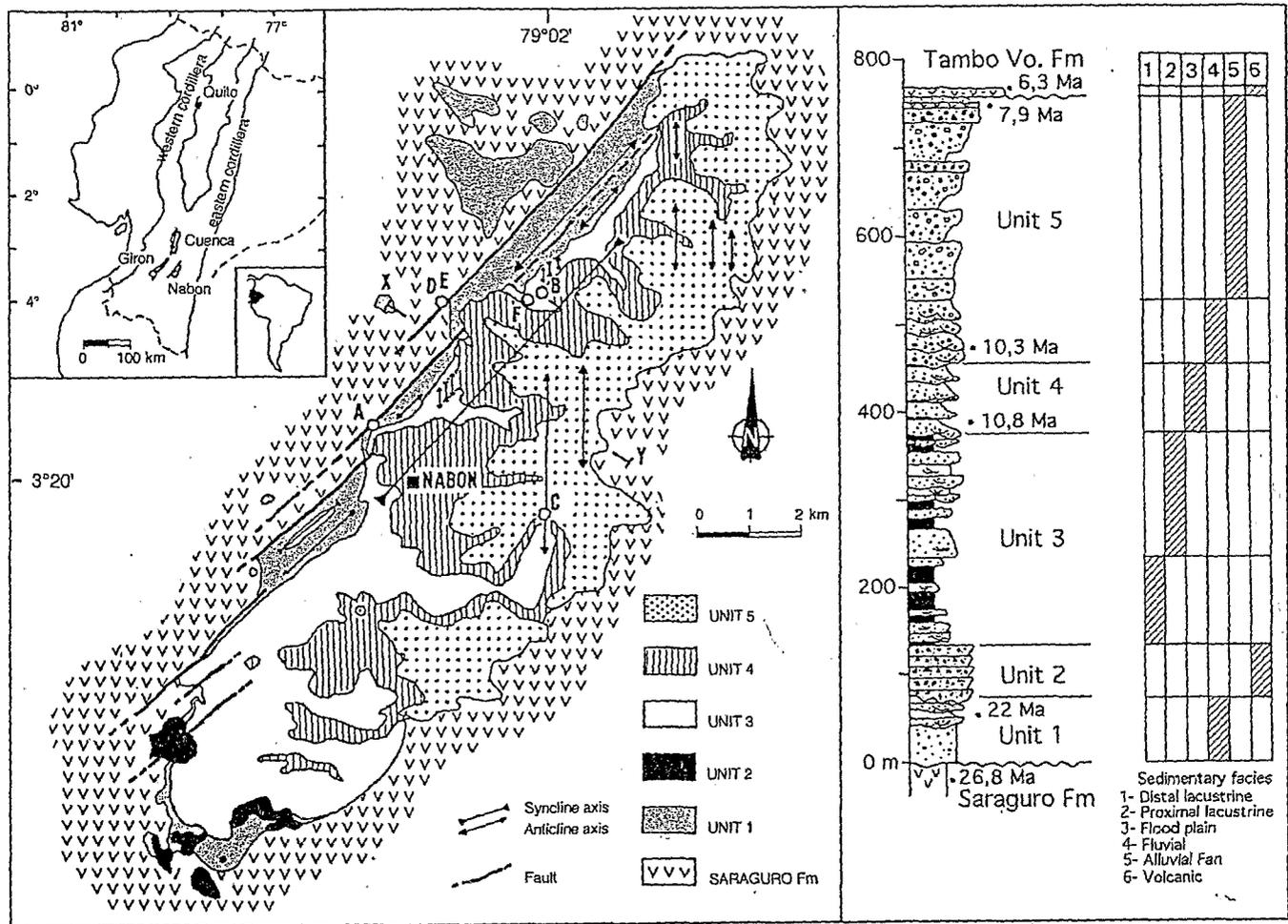
INTRODUCTION

Durant le Néogène, la géodynamique de la Cordillère des Andes s'accompagne de la formation de bassins sédimentaires intramontagneux qui enregistrent les phénomènes tectoniques contemporains (Mégard, 1987; Marocco *et al.*, 1994). Ces bassins sont guidés par des accidents hérités et se développent dans un contexte syntectonique. Dans cette perspective, le bassin néogène de Nabón est important, car il se situe dans une suite de bassins localisés dans le Sud de la Cordillère orientale des Andes équatoriennes (figure 1). L'étude stratigraphique, sédimentologique et structurale permet de reconstituer le modèle génétique de ce bassin, de définir le jeu du système de failles majeures NE-SW et N-S et de comprendre le rôle de la phase de déformation qui assure l'inversion entre le stade

d'ouverture et celui de sénescence. Ensuite, la comparaison avec les autres bassins néogènes du Sud de l'Équateur suggère un modèle régional.

STRATIGRAPHIE ET ÉVOLUTION SÉDIMENTOLOGIQUE

Le substratum du bassin est constitué par des ignimbrites de la Formation volcano-détritique Saraguro d'âge oligocène que l'on trouve dans tout le Sud du pays; dans la région de Nabón, des analyses radiométriques ont donné des âges de $35,3 \pm 0,9$ à $26,8 \pm 0,7$ Ma (discussion *in*: Lavenu *et al.*, 1992). Le remplissage du bassin, ou Formation Nabón (Bristow, 1976), épais de près de 800 m, peut être divisé en unités lithologiques. Une première échelle a été proposée par Winkler *et al.* (1993). Nous utilisons un découpage



différent en cinq unités définies du point de vue sédimentologique et cartographique.

A la base, l'unité 1 (ép. min. 80 m), essentiellement fluviatile (système en tresses), est composée de niveaux volcano-sédimentaires à prédominance de tufs pyroclastiques, puis de niveaux conglomératiques à clastes métamorphiques subanguleux (figure 1). L'existence de dépôts épais de cette unité, en dehors des limites actuelles du bassin, montre que le bassin actuel était encore mal individualisé. Les paléocourants indiquent un drainage du Sud vers le Nord. Cette unité correspond au substratum de la Formation Iguincha de Winkler *et al.* qui l'attribuent au Miocène inférieur ($22 \pm 1,3$ Ma).

L'unité 2 (ép. moy. 60 m) est séparée de la précédente par une discontinuité impor-

tante liée à des érosions profondes. Elle se compose de cinq séquences granocroissantes de lahars provenant du S-SE et s'étalant vers le Nord. Les éléments, andésitiques et dacitiques, sont inclus dans une matrice gréseuse. Contrairement à Winkler *et al.*, nous séparons cette unité de la précédente, car celles-ci sont séparées par un ravinement et ne correspondent pas à des faciès latéraux.

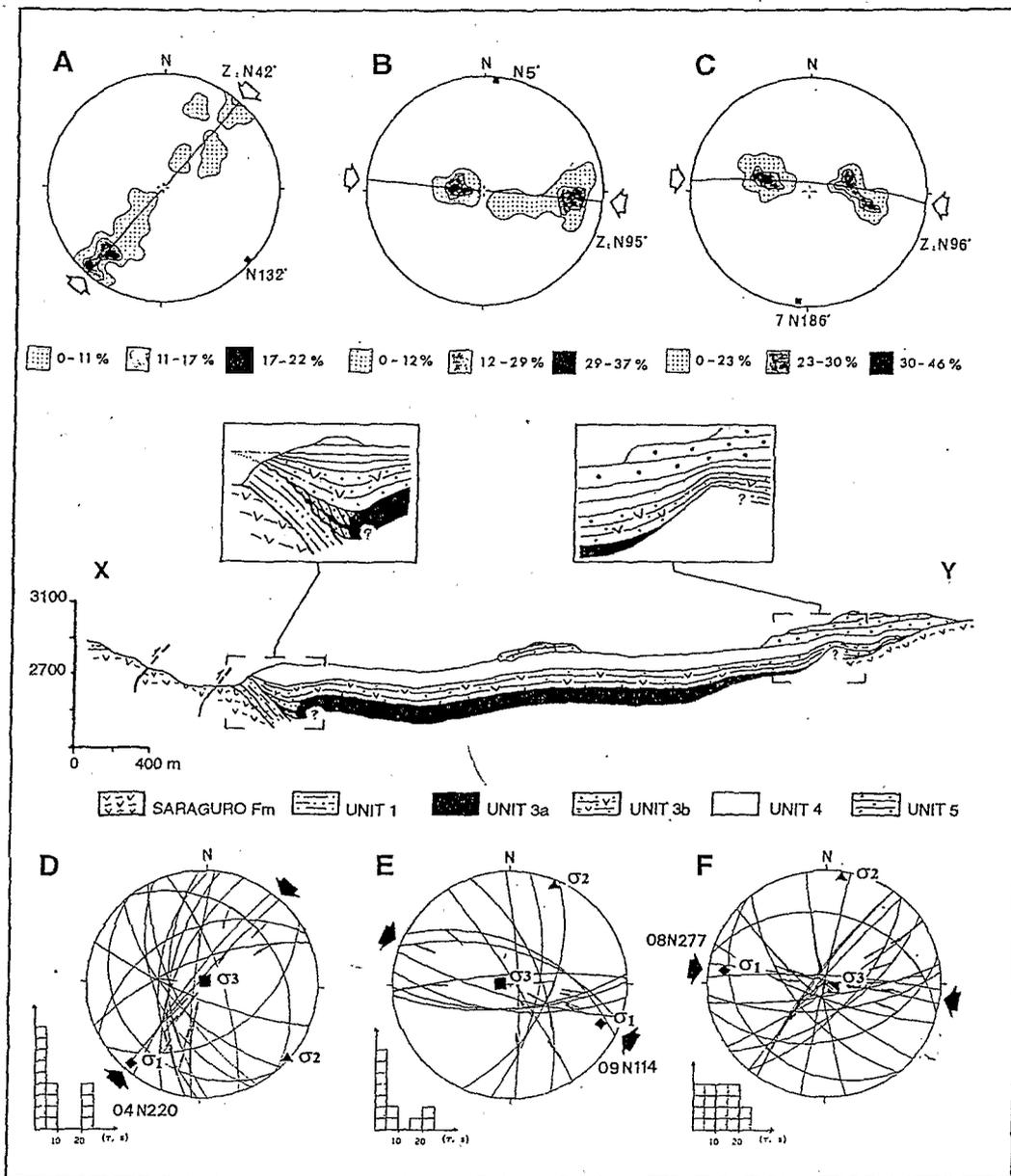
L'unité 3 (ép. moy. 240 m), lacustre, se divise en deux sous-ensembles. Le premier est composé de dépôts fins d'argile et grès à intercalations de bancs de charbon métriques et de niveaux à plantes. L'apparition progressive de bancs gréseux, progradants vers l'Est, traduit un comblement. Le second montre un enrichissement important en matériel volcanique pyroclastique qui comble le lac. La

Figure 1 Carte géologique et colonne lithostratigraphique du bassin de Nabón.

Geological map and lithostratigraphic column of the Nabón Basin.

Figure 2 Coupe synthétique du bassin de Nabón et analyse des déformations plicative et cassante associées. L'analyse microtectonique a été réalisée suivant la méthode de l'inversion des plans striés (Carey, 1979). Les histogrammes et les traits épais sur la trace des plans représentent les écarts entre strie mesurée (s) et strie calculée (t). Projection sur diagramme de Wulf, hémisphère inférieur. Sites de mesure localisés sur la figure 1.

Geological cross-section across the Nabón basin and analysis of associated folding and faulting deformations. Microtectonic analysis was performed using the striated planes inversion method (Carey, 1979). Histograms and thick lines on the fault planes show differences between measured (s) and calculated (t) slip vectors. Wulf's stereonet projection, lower hemisphere. Sites location on figure 1.



cartographie du contact entre ces niveaux et les lahars prolongés en bordure par des éboulis rocheux montre que ces épanchements limitaient le bassin au Sud et qu'il ne s'agit pas d'un faciès latéral du lacustre. Les paléocourants indiquent une inversion progressive des directions d'apport transverses: de l'Ouest vers l'Est à la base de l'unité et de l'Est vers l'Ouest au sommet; cette disposi-

tion témoigne d'une inversion des reliefs situés tour à tour sur la bordure ouest puis est.

L'unité 4 (ép. moy. 80 m) est composée de séquences grano et stratodécroissantes. La séquence élémentaire est constituée de chenaux conglomératiques, de niveaux gréseux et argileux et de rares niveaux de diatomites; elle se termine par un paléosol. Il s'agit d'un

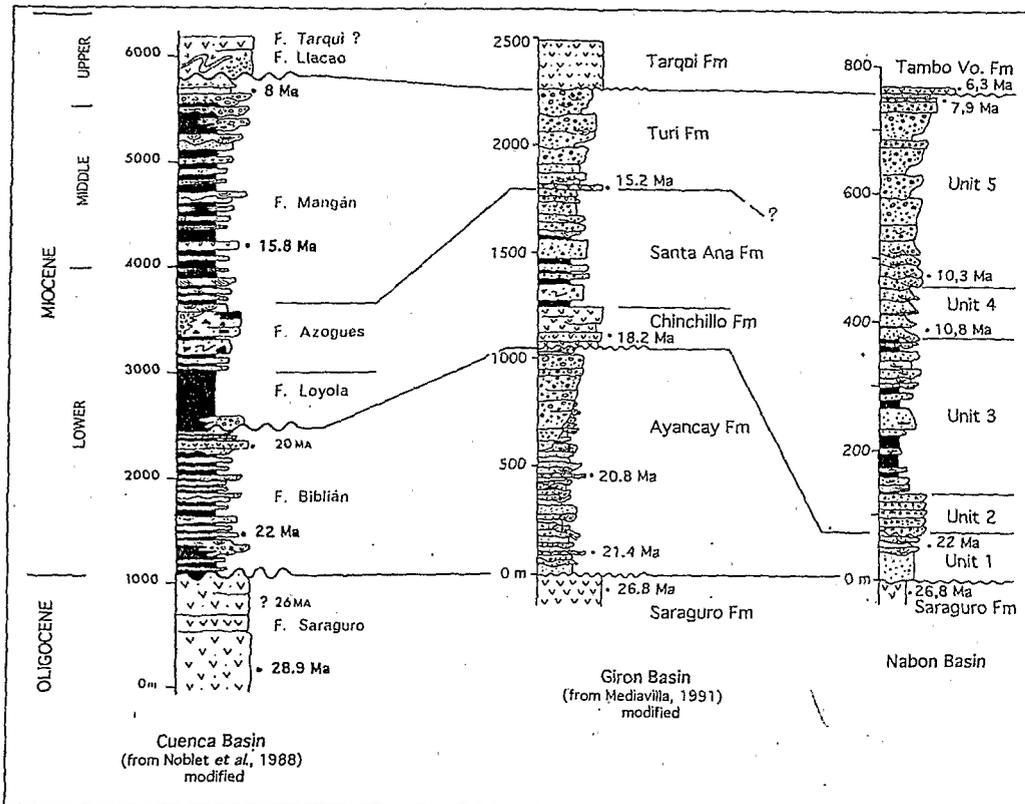


Figure 3 Corrélations lithostratigraphiques entre les bassins de Cuenca, Girón et Nabón (localisation figure 1).

Lithostratigraphic correlations between the Cuenca, Girón and Nabón basins (location figure 1).

environnement de plaine d'inondation et non d'un véritable lac comme le proposaient Winkler *et al.* De nombreux troncs d'arbres silicifiés sont présents, ainsi que des restes de mammifères du Miocène supérieur (Bristow, 1976). Une datation radiométrique à $10,85 \pm 0,5$ Ma (Madden, 1990) confirme cet âge. Des mesures de paléocourants montrent un apport d'Est en Ouest. Le tout correspond à la progradation d'un système torrentiel alimenté par des reliefs en voie de surrection situés sur la bordure est.

L'unité 5 (ép. moy. 300 m), de type fluviatile proximal à cône alluvial, apparaît progressivement avec progradation, sans discontinuité majeure, contrairement à l'interprétation de Winkler *et al.* qui y voient une discordance séparant deux formations. Cette unité est constituée de niveaux fluviatiles conglomératiques et gréseux, à laminations obliques et passe progressivement à des séquences grano et stratocroissantes de conglomérats

dans lesquels s'intercalent, au sommet, des niveaux pyroclastiques et des coulées boueuses. Les paléocourants indiquent toujours un transport de l'Est vers l'Ouest. Cette unité, d'âge Miocène supérieur, est datée à la base à $10,3$ Ma (Madden, 1990) et au sommet à $7,9 \pm 0,6$ Ma (Winkler *et al.*, 1993). L'ensemble poursuit le mouvement progradant d'Est en Ouest amorcé à l'unité 4, avec une croissance des apports qui traduit toujours une surrection des reliefs sur une bordure devenue active, en l'absence de preuves de modifications du climat.

Des dépôts volcaniques aériens ponctuels recouvrent en discordance cartographique le remplissage du bassin (Tambo Viejo Fm. de Winkler *et al.* : $6,3 \pm 0,5$ Ma).

En conclusion, le remplissage du Bassin de Nabón montre l'individualisation progressive d'un bassin alimenté axialement (Sud vers Nord), puis transversalement, avec l'opposition entre marges occidentale et orien-

tale. Ce remplissage est pelliculaire et le taux d'accumulation augmente vers le sommet, car le bassin s'approfondit selon un mouvement différentiel par rapport aux marges en surrection.

TECTONIQUE SYNSEDIMENTAIRE

L'analyse de la déformation plicative affectant la série de remplissage et celle des systèmes superposés de microfracturation permettent d'observer deux événements tectoniques synsédimentaires. Leur chronologie relative, est définie, en déterminant la position stratigraphique des séries affectées par les structures synsédimentaires et en établissant les relations entre les familles de stries mesurées. Un événement ancien, mal exprimé, limité à la seule unité 1 et contemporain de son dépôt (Miocène inférieur) résulte d'un raccourcissement NE-SW. Il est mis en évidence par des plis cylindriques, de largeur métrique à décimétrique et d'amplitude métrique, montrant des structures en éventail. L'axe de ce plissement est orienté N 132°E (Z = N 42°E). Le système de microfracturation le plus ancien (figure 2, D), mesuré sur la bordure ouest du bassin, montre un raccourcissement compatible $\sigma_1 = 4^\circ\text{N } 220^\circ\text{E}$ (R=0,86). Nous n'avons pas observé de failles inverses synsédimentaires liées à cet événement.

L'événement majeur compressif E-W, affectant l'ensemble de la série de remplissage du bassin, est contemporain de la sédimentation des unités 3, 4 et 5 (Miocène moyen ? à supérieur). Il est mis en évidence par des plis d'axe N-S à N 10°, synsédimentaires cylindriques kilométriques, de largeur décimétrique à hectométrique et d'amplitude jusqu'à hectométrique (figure 2, B, C). Un second système de microfracturation, plus récent, indique un raccourcissement compatible proche d'E-W ($\sigma_1 = 9^\circ\text{N } 114^\circ\text{E}$, R = 0,92 et $\sigma_1 = 8^\circ\text{N } 277^\circ\text{E}$, R = 0,62) (figure 2, E, F). Cet événement tectonique se traduit, sur l'ensemble du bassin, par des discordances progressives notables, particulièrement le long de la bordure ouest au Nord du village de Nabón. Les structures synsédimentaires mon-

trent que la déformation affecte sur le bord occidental du bassin, les séries de l'unité 3 et la base de l'unité 4 et sur le bord oriental, au moins le sommet de l'unité 3 et les unités 4 et 5 (figure 2). Ceci confirme un déplacement d'Ouest en Est de la déformation synsédimentaire. Sur la bordure occidentale, le mouvement décrochant dextre inverse des failles de socle orientées N 45°E, attesté par des plis en échelon, provoque l'apparition de flexures synsédimentaires de même direction. Après la sédimentation, et donc postérieurement aux déformations synsédimentaires décrites, les sédiments du bassin sont plissés en une vaste gouttière kilométrique orientée N 45°E. Cette déformation pourrait résulter d'un rejeu récent inverse ou dextre, inverse des failles de la bordure ouest.

COMPARAISON AVEC D'AUTRES BASSINS NÉOGÈNES CONTINENTAUX DU SUD DE L'ÉQUATEUR. CONCLUSION

L'analogie des enchaînements de faciès, les datations et l'étude tectonique permettent de comparer l'évolution géodynamique du bassin de Nabón à celle des bassins voisins de Cuenca et Girón (Noblet *et al.*, 1988; Mediavilla, 1991).

Le substratum de tous ces bassins est constitué par la Formation Saraguro de l'Oligocène (figure 3). Le remplissage débute par des dépôts fluviaux en tresse et localement de cônes alluviaux, dans lesquels s'intercalent des passées volcano-sédimentaires. Dans les trois bassins, les datations attribuent un âge Miocène inférieur à ces dépôts et le transport des sédiments se fait alors du Sud vers le Nord. Puis, les trois bassins s'approfondissent et ces séries érodées sont recouvertes, localement en discordance angulaire, par la suite de la sédimentation néogène. Les séries supérieures présentent la même évolution grano et stratocroissante. Elles correspondent à un passage de milieux de sédimentation distaux (lacustre et/ou palustre) à des milieux de sédimentation proximaux (fluviaux, puis cônes alluviaux). Cette évolution dure du sommet du Miocène inférieur au

Miocène supérieur, mais il est possible qu'il existe une diachronie d'un bassin à l'autre.

L'étude structurale des bassins montre toujours deux événements tectoniques distincts. Le premier, caractérisé par un raccourcissement NE-SW, est d'âge Miocène inférieur: il permet l'installation de réseaux fluviaux le long d'accidents décrochants et est donc responsable de l'ouverture des bassins. Dans les trois cas, l'existence de structures compressives suggère un système en transpression, avec apparition de cuvettes bordées par des reliefs actifs. Le second est le stade tectonique majeur, car le plus long: il correspond à un raccourcissement E-W contemporain du dépôt du reste du remplissage des bassins. Peut-être diachrone, il est à l'origine de leur sénescence.

Ainsi, le bassin de Nabón montre le même type d'évolution sédimentologique et structurale que les autres bassins du Sud de l'Equateur. Son étude permet de mettre en évidence un déplacement d'Ouest en Est de la

zone active, ainsi qu'une évolution de la direction de compression de NE-SW à E-W qui s'exerce sur des accidents préexistants NE-SW et détermine les deux périodes de l'évolution d'un bassin: ouverture et sénescence. Cette dynamique est enregistrée par une sédimentation qui s'affine puis redevient grossière; le point d'inflexion correspond à l'inversion née du changement d'orientation de la contrainte principale. Il est nécessaire de dater avec précision cet événement majeur dans tous les bassins du Sud des Andes équatoriennes. La diachronie pressentie suggérerait alors un déplacement de la déformation affectant successivement les grands accidents hérités. Les bassins néogènes andins nord-péruviens montrent également une évolution en deux temps, mais contrairement aux bassins andins du Sud de l'Equateur, leur ouverture se fait à la faveur d'un régime en extension et non en décrochement (Bellier *et al.*, 1989; Marocco *et al.*, 1994).

Cette Note est une contribution de l'UR 1H « Géodynamique et Concentrations Minérales » de l'ORSTOM dans le Cadre des Conventions liant l'ORSTOM à l'EPN-CLIRSEN-IPGH (Equateur), l'IFEA et l'UPPA (France).

- BELLIER, O., SEBRIER, M., GASSE, F., FOURTANIER, E. et ROBLES, I., 1989. Evolution géodynamique mio-pliocène et quaternaire des bassins de la cordillère occidentale du Nord-Pérou; les bassins de Cajabamba, San Marcos et Namora (Département de Cajamarca), *Géodynamique*, 4, 2, p. 93-118.
- BRISTOW, R., 1976. On the age of the Nabón Formation Ecuador, *Newsl. Stratigr.*, 5, 2-3, p. 104-107.
- CAREY, E., 1979. Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles, *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, 21, (1), p. 57-66.
- LAVENU, A., NOBLET, C., BONHOMME, M., EGUEZ, A., DUGAS, F. et VIVIER, G., 1992. New K-Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationships between sedimentation, volcanism, and tectonics, *J. S. Amer. Earth Sci.*, 5, 3/4, p. 309-320.
- MADDEN, R. H., 1990. Miocene Toxodontidae (Notoungulata, Mammalia) from Colombia, Ecuador and Chile, *Ph. D.*, Duke University, 210 p.
- MAROCO, R., LAVENU, A. et BAUDINO, R., 1994. The intermontane Late Paleogene/Neogene Basins of the Andes of Ecuador and Peru: Sedimentologic and Tectonic Implications, *Bull. AAPG* (sous presse).
- MEDIAVILLA, J., 1991. Evolución geodinámica de la cuenca terciaria de Girón-Santa Isabel, Sur del Ecuador, *Thesis*, EPN, Quito, Ecuador, 206 p., inédite.
- MEGARD, F., 1987. Cordilleran Andes and marginal Andes: a review of andean geology north of the Arica elbow (18°S), in MONGER, J. H. et FRANCHETEAU, J., éd., *Circum-Pacific orogenic belts and evolution of the Pacific Ocean Basin*, Am. Geophys. Union, Geodynamics Series, 18, p. 71-95.
- NOBLET, C., LAVENU, A. et SCHNEIDER, F., 1988. Etude géodynamique d'un bassin intramontagneux tertiaire sur décrochements dans les Andes du sud de l'Equateur: l'exemple du bassin de Cuenca, *Géodynamique*, 3, (1-2), p. 117-138.
- WINKLER, W., EGUEZ, A., SEWARD, D., FORD, M., HELLER, F., HUNGERBÜHLER, D. et STEINMANN, M., 1993. A short-lived compression related sediment fill in the Andean intermontane basin of Nabón (Late Miocene, Southern Ecuador), *II^e ISAG*, Oxford, p. 321-324.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1129

COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

SÉRIE II • TOME 319



N° 1 • 7 JUILLET 1994

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 43162

Cote : B ex 1

SCIENCES DE LA TERRE ET DES PLANÈTES

EARTH & PLANETARY SCIENCES

gauthier villars

ISSN 0764-4450

PBG/N

ORSTOM Documentation



010003905