



**HAL**  
open science

## Construction et évolution de l'arc équatorien au cours du Quaternaire

Mathilde Bablon, Santiago Santamaria, Xavier Quidelleur, Pablo Samaniego,  
Jean-Luc Le Pennec, Silvana Hidalgo

► **To cite this version:**

Mathilde Bablon, Santiago Santamaria, Xavier Quidelleur, Pablo Samaniego, Jean-Luc Le Pennec, et al.. Construction et évolution de l'arc équatorien au cours du Quaternaire. *Géochronique*, 2019, 150, pp.38-41. hal-02365845

**HAL Id: hal-02365845**

**<https://hal.science/hal-02365845>**

Submitted on 20 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

## 2 > Volcans d'Amérique latine

La subduction, plongement d'une plaque océanique sous une autre, continentale (cordillère) ou océanique (arc volcanique), constitue un phénomène géodynamique majeur aux conséquences planétaires : tectonique, sismique, magmatique. La fameuse « Ceinture de feu du Pacifique » concentre la grande majorité des catastrophes telluriques : volcan, séisme, tsunami.

En fait, plusieurs cas se distinguent, selon le type de plaque chevauchante, l'âge de la subduction, etc. Le magma émis peut être andésitique, tholéiitique, shoshonitique bien que la grande majorité (90 %) reste en profondeur sous forme de plutons. Et si la pente du plan de Benioff est trop faible, le volcanisme est absent !

### Construction et évolution de l'arc équatorien au cours du Quaternaire

#### Le volcanisme de la cordillère des Andes

Le volcanisme de la cordillère des Andes est produit par le plongement des plaques océaniques Nazca et Antarctique sous l'Amérique du Sud. Au fur et à mesure de l'augmentation de la pression et de la température en profondeur, les plaques entrées en subduction libèrent des fluides aqueux qui permettent la genèse des magmas par fusion des roches du coin de manteau (fig. 2-1C). Ce processus se manifeste en surface par la mise en place d'une chaîne volcanique.

Les volcans de la cordillère des Andes ont une activité généralement explosive, caracté-

sée par des projections de bombes volcaniques et la formation de panaches de cendres et de gaz, qui peuvent s'effondrer et former des écoulements pyroclastiques sur les flancs du volcan. Lors de fortes précipitations, ou de la fusion locale d'un glacier sommital, les dépôts peuvent être remaniés et se transformer en coulées de boue (*lahars*), à l'image de l'éruption meurtrière du Nevado del Ruiz (1985) en Colombie. Le risque volcanique est donc particulièrement élevé pour les populations et les infrastructures installées dans la cordillère. ●●●

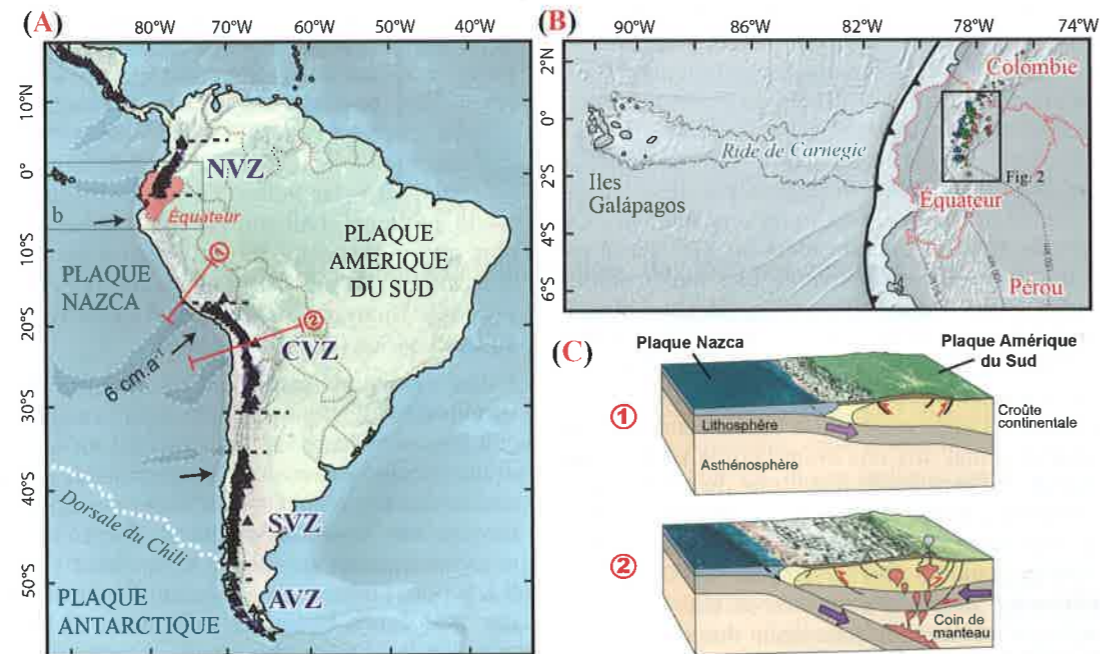


Fig. 2-1. – (A) Carte de l'Amérique du Sud montrant la subduction de la plaque océanique Nazca sous le continent sud-américain. Les volcans quaternaires sont représentés par des triangles. (B) Carte de l'Équateur et de la ride de Carnegie. Cette dernière est formée par l'activité du point chaud des Galápagos, qui est également responsable de la construction des îles qui forment actuellement l'archipel du même nom. (C) Coupes schématiques montrant le cas d'une subduction horizontale (1) et d'une subduction conduisant à de l'activité volcanique en surface (2).

Le long de la cordillère des Andes, on observe des segments sans aucune activité volcanique quaternaire, comme au nord du Pérou et dans les régions centrales du Chili, et à l'inverse des segments qui présentent un volcanisme actif : les Zones Volcaniques Nord (NVZ), Centrale (CVZ), Sud (SVZ) et Australe (AVZ ; fig. 2-1A). Les produits volcaniques de la NVZ (Colombie et Équateur) sont majoritairement andésitiques et semblables à ceux de la SVZ (sud du Chili et Argentine). Les magmas de la CVZ (Pérou, Bolivie, Chili et Argentine) traversent une croûte continentale épaisse de 60-70 km. Les produits

des éruptions sont en général plus différenciés et peuvent avoir des compositions dacitiques et rhyolitiques. Enfin, les volcans de la Patagonie chilienne se distinguent par des teneurs en éléments alcalins plus élevées. Cette répartition singulière le long de la cordillère peut s'expliquer en partie par les variations du pendage des plaques océaniques qui entrent en subduction. En effet, l'angle de plongement au niveau des segments sans volcanisme serait trop faible pour permettre la fusion partielle du coin de manteau et la genèse de magma.

#### L'arc équatorien : une densité d'édifices exceptionnelle

L'arc volcanique équatorien (fig. 2-1B et 2-2C), long de 650 km, forme la terminaison sud de la NVZ. Il se situe dans le prolongement oriental de la ride de Carnegie, un plateau océanique basaltique qui se forme lors du passage de la plaque Nazca au-dessus du point chaud des Galápagos (fig. 2-1B). L'arc équatorien a la particularité d'avoir la plus forte densité de volcans quaternaires de la cordillère des Andes. En effet, il comprend plus de 80 édifices volcaniques, dont une vingtaine sont considérés comme étant potentiellement actifs. Au cours des vingt dernières années, cinq volcans sont entrés au moins une fois en éruption : le Sangay (en éruption depuis 1628), le Reventador (en éruption depuis 2002), le Pichincha (1999 ; fig. 2-2A), le Cotopaxi (2015), et le Tungurahua (1999-2016 ; fig. 2-2B ; <https://igepn.edu.ec>).

Le point culminant de l'arc se situe au sommet du Chimborazo (6 268 m), qui a également la particularité d'être le point de la surface du globe le plus éloigné du centre de la Terre.

Au niveau de l'Équateur, la cordillère des Andes se divise en deux chaînes séparées par une dépression, la Vallée interandine. Les volcans équatoriens présentent des caractéristiques morphologiques et géochimiques qui permettent de les diviser en quatre groupes. Le groupe des volcans du front volcanique (fig. 2-2C) est constitué par l'alignement des édifices les plus proches de la zone de subduction. Ils sont majoritairement situés dans la Cordillère occidentale (bleu ; fig. 2-2C), mais également dans la Vallée interandine et dans la Cordillère orientale (vert et orange ; fig. 2-2C) pour l'extrémité sud de l'arc. ●●●

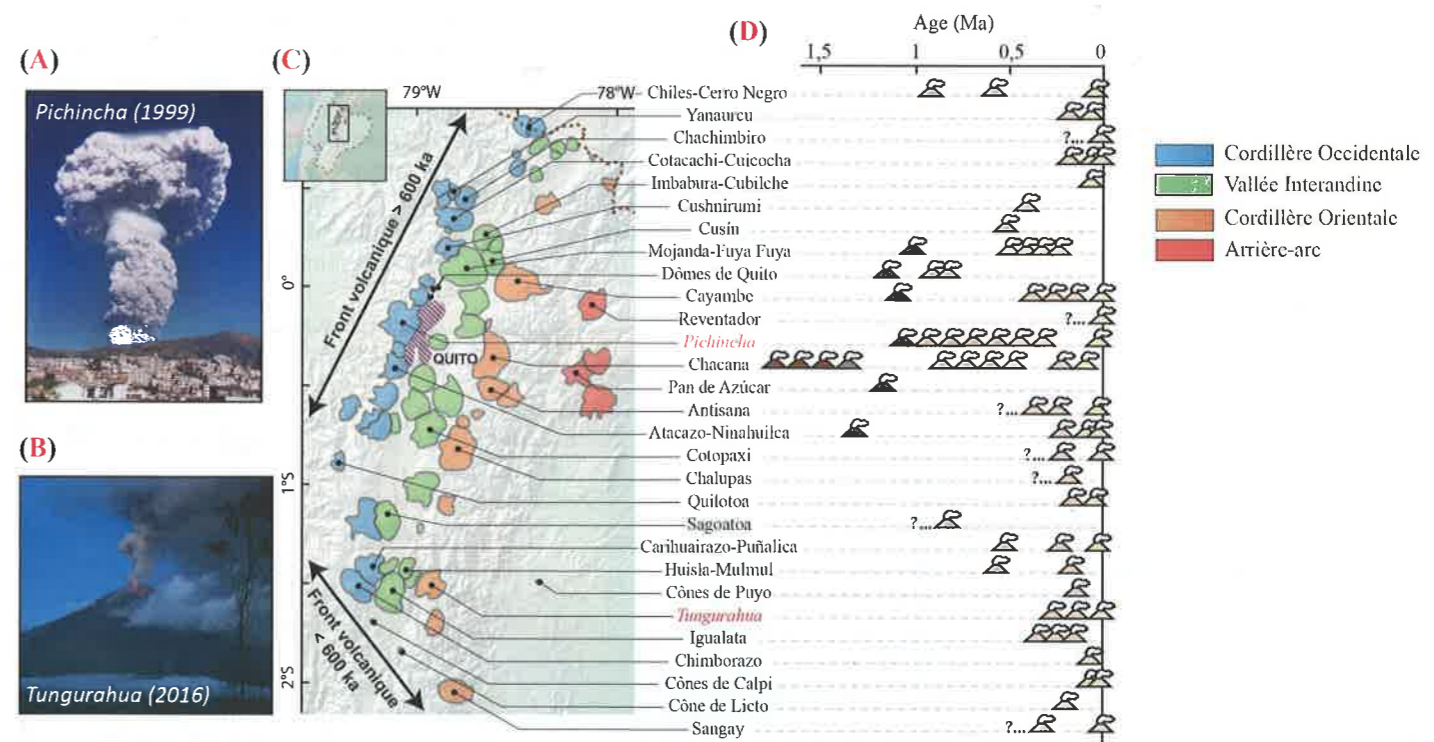


Fig. 2-2. – (A) Photo de l'éruption du Pichincha en octobre 1999, prise depuis Quito (IG-EPN). (B) Photo de la dernière éruption du Tungurahua, en mars 2016 (X. Quidelleur). (C) Carte de l'arc volcanique quaternaire équatorien. La ville de Quito est représentée en violet hachuré. (D) Synthèse des périodes d'activité connues pour les volcans de l'arc (modifié de Bablon et al., 2019).

●●● L'arc principal se compose du groupe des volcans situés dans la Vallée interandine et du groupe de ceux situés dans la Cordillère orientale (vert et orange ; fig. 2-2C). Enfin, le groupe des volcans de l'arrière-arc (rouge ; fig. 2-2C) se situe aux contreforts de la Cordillère orientale, à la bordure ouest du Bassin amazonien.

Le socle de l'arc, au niveau de la Cordillère occidentale et de la Vallée interandine, est composé de roches basaltiques provenant d'anciens plateaux océaniques accrétés à la marge équatorienne au cours du Crétacé et de l'Éocène. Sous la Cordillère orientale et le Bassin amazonien, le socle métamorphique est constitué de roches volcaniques et sédimentaires mésozoïques et paléozoïques et du craton guyanais précambrien.

Afin de reconstruire les étapes de construction de l'arc et évaluer les risques liés à l'activité volcanique, il est nécessaire de dater les produits volcaniques. En effet, la nature de ces produits permet de caractériser la dynamique éruptive du volcan, tandis que leur datation apporte des informations sur les périodes d'activité passées de l'édifice. Ces datations peuvent être réalisées par la méthode  $^{14}\text{C}$  sur des fragments de bois carbonisé incorporés dans des dépôts explosifs plus jeunes que 50 ka, ou par la méthode K-Ar (et sa dérivée  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) sur le verre, la mésostase ou les cristaux (les plagioclases ou les biotites, par exemple) des laves.

### Des laves à la signature géochimique particulière

L'étude de la composition chimique et de la pétrographie des magmas apporte des informations précieuses sur la nature et la profondeur de leur source, leur interaction avec les roches encaissantes lors de leur remontée, ou encore sur leurs conditions de stockage dans les chambres magmatiques.

Les produits volcaniques de l'arc équatorial sont essentiellement andésitiques, mais on y trouve également des andésites basaltiques, des

Ces études ont ainsi mis en évidence que la construction de l'arc quaternaire est récente, et a débuté vers 1,5-1 Ma autour du bassin de Quito, situé dans la Vallée interandine (fig. 2-2D). L'activité volcanique s'est intensifiée à partir de 600 ka avec la construction de nombreux édifices, puis s'est peu à peu propagée vers le sud. En effet, les âges obtenus pour les volcans situés au sud de l'arc n'excèdent pas 300 ka. Le Sangay forme actuellement la terminaison sud de l'arc quaternaire. Le front volcanique diffère également entre le nord, où il est orienté NE-SW, et le sud de l'arc, où il devient NE-SW (fig. 2-2C). Sous l'arc, la géométrie de la plaque Nazca est particulière et présente une zone de flexure (traits hachurés violets ; fig. 2-1B ; Yepes *et al.*, 2016). Cette flexure accommode l'angle et l'orientation du plongement qui diffèrent entre le nord et le sud de l'Équateur, principalement en raison de la densité variable de la plaque et de la courbure de la zone de subduction (traits hachurés violets ; fig. 2-1B). L'évolution spatio-temporelle de l'arc semble provenir de changements des conditions de pression et de température en profondeur provoqués par des modifications de la morphologie de la plaque plongeante en lien avec l'entrée en subduction de la ride de Carnegie (fig. 2-1B). Enfin, la distribution spatiale des édifices semble également liée à la présence de la ride de Carnegie, et à l'activité des failles crustales.

dacites et des rhyolites. Les magmas du front volcanique (bleu), de la Vallée interandine (vert) et de la Cordillère orientale (orange) appartiennent majoritairement à la série magmatique calco-alcaline moyennement potassique (MK ; fig. 2-3). Les volcans situés en arrière-arc (rouge ; fig. 2-3) sont moins différenciés et appartiennent à la série magmatique shoshonitique, très enrichie en alcalins. On note donc une augmentation de la teneur en potassium entre le front volcanique

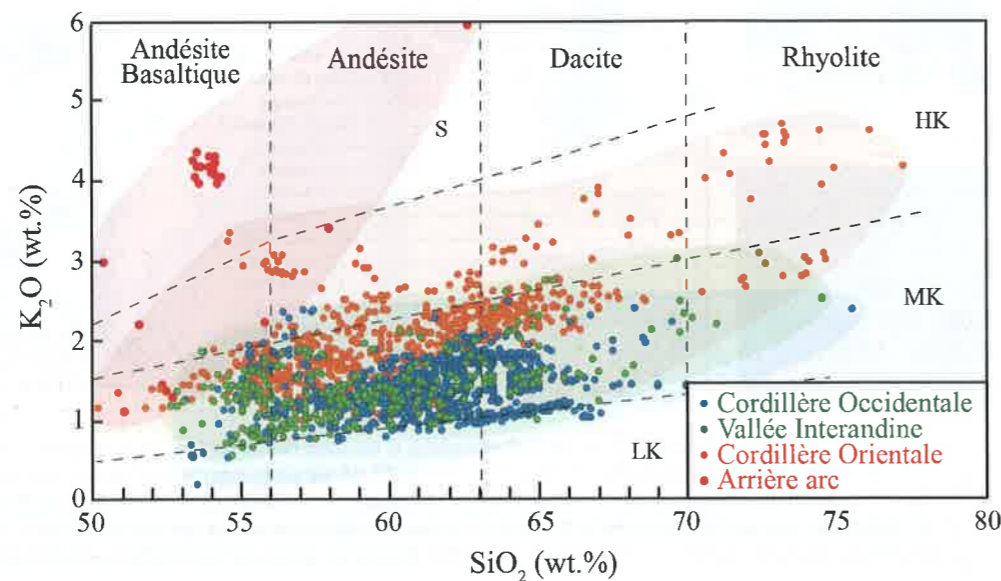


Fig. 2-3. – Teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  en fonction de la teneur en  $\text{SiO}_2$  des produits de l'arc volcanique équatorial (analyses issues de la base de données de Georoc). La légende est identique à la fig. 2-2C. LK, MK et HK : séries magmatiques faiblement, moyennement et fortement enrichies en potassium, respectivement. S : série shoshonitique.

●●● et l'arrière-arc. Plus généralement, les volcans les plus éloignés de la zone de subduction sont enrichis en éléments incompatibles, qui ont une affinité pour les phases liquides et sont peu incorporés dans les cristaux. Cette distribution spatiale s'explique par la diminution de la quantité de fluides aqueux libérés par la plaque océanique au fur et à mesure de son plongement, ce qui s'accompagne d'une diminution du taux de fusion partielle du coin de manteau (fig. 2-1C) et des teneurs plus élevées en éléments incompatibles dans les magmas qui en résultent. Les analyses isotopiques du Sr, Nd, Pb et de l'O (Hidalgo *et al.*, 2012 ; Ancellin *et al.*, 2017) mettent en évidence que la signature chimique des magmas est essentiellement liée à la profondeur de la source et à la nature du matériel à l'origine de la genèse de ces magmas, puis aux processus d'assimilation crustale et de cristallisation fractionnée qui ont lieu plus en surface, lors de la remontée des magmas dans la croûte.

## Le volcanisme actif du Salvador

Le Salvador (« El Salvador »), le plus petit pays d'Amérique centrale (1/26<sup>e</sup> de la superficie de la France), se situe au sud du Guatemala et du Honduras (fig. 2-4).

### Subduction et Ceinture de feu

Ce pays occupe une situation géodynamique bien particulière, sur la plaque Caraïbe sous laquelle plonge en subduction la plaque Cocos à la vitesse moyenne de 9 centimètres par an (fig. 2-5). La plaque Caraïbe elle-même se déplace de 2 centimètres par an vers l'est, créant d'importantes failles de décrochement par rapport aux plaques Amérique du Nord et Amérique du Sud et une subduction dans l'océan Atlantique, au niveau de l'arc des Petites Antilles.

La fosse Pacifique atteint 5 000 mètres de profondeur. Une chaîne volcanique longe la côte, parallèle à la fosse océanique, à 200 kilomètres de celle-ci : un maillon de la fameuse Ceinture de feu du Pacifique ! La production magmatique volcanique y est importante, de 3,1  $\text{km}^3$  par kilomètre de côte, pour les 100 000 dernières années, soit 8 fois plus que pour l'arc des Antilles.

Le Salvador est régulièrement secoué par des séismes souvent meurtriers. Celui du 13 janvier 2001, de magnitude 7,9, fit plusieurs milliers de morts. ●●●

Fig. 2-5. – Le contexte géodynamique (d'après Stéphan *et al.*, 1985, modifié). Les noms des six plaques en présence sont en majuscules. Les zones de subduction sont indiquées par des lignes grasses avec des triangles.

Les travaux réalisés depuis une quarantaine d'années ont permis de mieux définir l'histoire éruptive de l'arc et de créer des cartes de risques associées aux édifices volcaniques actifs. De nombreux instruments ont été installés pour surveiller leur activité, notamment la déformation de leurs flancs, l'activité sismique et le dégazage. Les prochains enjeux scientifiques sont de réaliser des études géologiques et géochronologiques plus fines, à l'échelle du volcan, afin de donner la priorité aux surveillances et mieux évaluer les risques pour les populations.

■ M. Bablon<sup>1</sup>, S. Santamaria<sup>1</sup>, X. Quidelleur<sup>1</sup>, P. Samaniego<sup>2,3</sup>, J.-L. Le Pennec<sup>2,3</sup>, S. Hidalgo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>GEOPS, Univ. Paris-Sud, CNRS, Univ. Paris-Saclay, Orsay, France

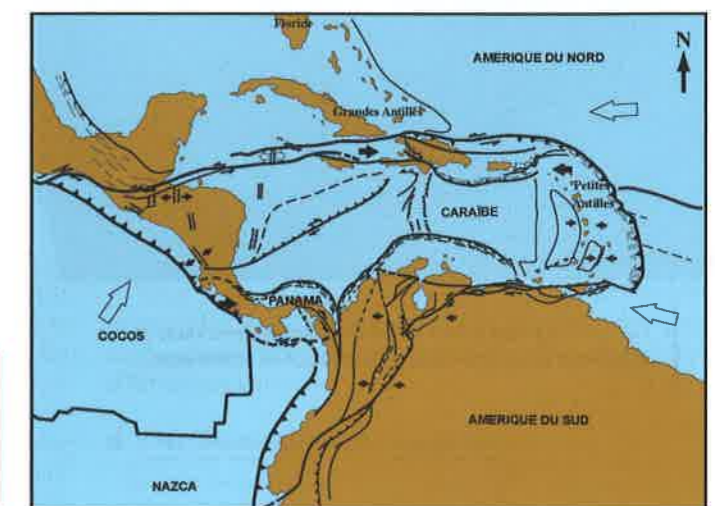
<sup>2</sup>Lab. Magmas et Volcans, Univ. Clermont Auvergne, CNRS,

IRD, OPGC, Clermont-Ferrand, France

<sup>3</sup>Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador



Fig. 2-4. – Le Salvador et ses principaux volcans.



# GÉOCHRONIQUE

n°150

Magazine des Géosciences  
Juin 2019 / 15 €

## Regards sur la Volcanologie

une coédition

