

P1 ASSO.1
MON



hn² 317

GÉOMATÉRIAUX/
GEOMATERIALS
(PÉTROLOGIE/PETROLOGY)

Les adakites d'Équateur : modèle préliminaire

Michel Monzier, Claude Robin, Minard L. Hall, Joseph Cotten, Patricia Mothes, Jean-Philippe Eissen et Pablo Samaniego

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 324, série II a,
p. 545 à 552,
1997

M. M. et C. R. : Orstom, Apartado
postal 17-11-6596, Quito ;

E-mail : monzier@orstom.ecx.ec

M.L. H., P. M. et P. S. : Instituto
Geofísico, Escuela Politécnica
Nacional, Apartado postal 17-01-2759,
Quito, Équateur ;

E-mail : instgeof@uio.satnet.net

J. C. : Département des sciences de la
terre, CNRS-URA n° 1278, université de
Bretagne occidentale, B. P. 809, 29285
Brest ;

E-mail : Jo.Cotten@univ-brest.fr

J.P. E. : Orstom, centre de Brest, BP 70,
29280 Plouzané cedex, France.

E-mail : eissen@ifremer.fr

Résumé L'ensemble des roches de 12 volcans quaternaires des Andes équatoriennes (286 analyses nouvelles) présente une signature adakitique, plus ou moins forte selon les appareils. Cette signature proviendrait de la fusion partielle de matériaux basaltiques métamorphisés de la croûte continentale (MORB et/ou basaltes d'arc) sous l'action des remontées magmatiques d'origine mantellique. Un modèle pétrogénétique préliminaire est proposé, qui explique les grands traits d'ensemble de la géochimie des volcanites équatoriennes.

Mots clés : Adakites, Basaltes d'arc, Processus magmatiques, Andes, Équateur.

Abstract Adakites from Ecuador: preliminary data

All the rocks from 12 Quaternary Ecuadorian volcanoes (286 new analyses) show an adakitic signature, more or less obvious depending on the series. This signature could result from the partial melting of metamorphosed basaltic material (MORB and/or arc basalt) at the base of the continental crust, triggered by magmas rising from the mantle. Here a preliminary petrogenetic model is proposed, which explains the main geochemical features of the Ecuadorian arc volcanics.

Keywords: Adakites, Arc basalts, Magmatic processes, Andes, Ecuador.

SEP. 23 1998

ORSTOM
Centre Documentation
Quito

**Abridged
English
Version**

IN Ecuador, 55 Quaternary volcanic centres form a N-S volcanic province, 300 km long and 120 km wide (fig. 1). New geochemical data from 12 volcanoes (Cotacachi, Cushnirumi, Fuya Fuya, Mojanda, Pulumahua, Quilotoa (western volcanic row) and Soche, Old Cayambe, Nevado Cayambe, Chacana, Cotopaxi and Tungurahua (eastern row)) are presented and discussed here.

CHEMICAL CHARACTERISTICS: AN OVERALL ADAKITIC SIGNATURE

All of the 286 sampled rocks have SiO₂ contents ranging from 55 to 77% (all values LOI (lost on ignition) free and recalculated to 100%), and are predominantly medium-K andesites and dacites (fig. 2). The K₂O, LILE (large ion lithophile elements) and LREE (light rare earth elements) contents are generally lower (for a given SiO₂ content) in the

rocks from the western volcanic row than in those of the eastern row. Additionally, the Ba/La value is a useful criteria to distinguish the western (Ba/La > 48) and the eastern (Ba/La < 48) compositions.

When compared to the 'normal' compositions of the New Hebrides intra-oceanic island arc (NHA; Monzier *et al.*, in press), most Ecuadorian compositions are strongly enriched in MgO, Ni and Cr, moderately enriched in Al₂O₃, Sr and CaO, similar in TiO₂, Na₂O, Rb, Ba, LREE, moderately depleted in Fe₂O₃*, K₂O, and strongly depleted in Y and HREE (heavy rare earth elements) (fig. 2). The marked depletion in Y and HREE, as well as the high Sr/Y and La/Yb values, and the predominance of andesites and dacites, are consistent with the participation of adakitic magmas in the genesis of all the Ecuadorian volcanics (Defant and Drummond, 1990; Drummond and Defant, 1990).

Note

présentée par
Jean Aubouin.

remise le 18 juillet 1996,
acceptée après révision
le 2 janvier 1997.



TWO MAIN MAGMATIC TYPES

Based on the variable intensity of this adakitic signature, two main magmatic types, both present in each volcanic row, may be considered (fig. 2). Type I, consisting of strongly adakitic dacites and acid andesites, corresponds to volcanoes Cushnirumi, Fuya Fuya, Pulumahua, Quilotoa (western row), Soche, Nevado Cayambe, Chacana (eastern row) and, perhaps, Cotacachi. Type II, mainly formed by weakly adakitic basic andesites, corresponds to volcanoes Mojanda (western row), Old Cayambe and Tungurahua (eastern row). Both magmatic types are present at Cotopaxi.

On the (LaN/YbN) versus YbN diagram (fig. 3), type I compositions from the western and eastern volcanic rows form two steep, parallel and close trends, A and B, contained between a high LaN/YbN and low YbN pole and the basaltic field of the NHA. Type II compositions form a dense swarm (C), which partly covers the basaltic field of the NHA. On the (LaN/YbN) versus LaN diagram (fig. 3), two steep and parallel trends, A and B, correspond respectively to the most primitive type I compositions (*i.e.* those with the lowest La content for a given La/Yb value). Trend C, corresponding to type II compositions, appears to be intermediate between the steep type I trends and the subhorizontal fractional crystallization trend for NHA 'normal' compositions.

PRELIMINARY PETROGENETIC MODEL

A variable participation of adakitic magmas in the genesis of Ecuadorian volcanics is supported by their overall geochemistry. Adakites are usually considered as melting products, produced at 70–80 km depth (*i.e.* in a fore-arc environment), of a young (< 20 my) and hot (800–1000 °C) subducted oceanic crust (Defant and Drummond, 1990; Drummond and Defant, 1990; Maury *et al.*, 1996; Stern and Kilian, 1996). If a young oceanic lithosphere (< 20 Ma) is effectively subducting under Ecuador (Lonsdale and Klitgord, 1978), the Quaternary volcanic arc is positioned too far from the trench (250–300 km) and too high above the slab (130–170 km; Winter, 1990) to explain adakite generation in

this way. An alternative model, based on that of Atherton and Petford (1993), is proposed. In this model, magmatic batches rising from the mantle induce melting of metamorphosed MORB and/or arc basalt material at the base of the thick Ecuadorian crust (> 50 km; Prévot *et al.*, 1996). Indeed, accreted pieces of oceanic crust certainly occur at the base of the continental crust, under both volcanic rows (Litherland *et al.*, 1993).

More precisely, the generation of Ecuadorian magmas may be discussed following the (LaN/YbN) versus LaN diagram (fig. 3) and the petrogenetic model of Kilian *et al.* (1995). Our model considers basaltic magmas ($\beta 1$, $\beta 2$) from the mantle and SiO₂-rich adakitic magmas (S1, S2) from the base of the continental crust (either by MORB and/or arc basalt melting). Variable degrees of partial melting of the basaltic material, and variable degrees of mixing between the resulting adakitic magmas and the rising basaltic magmas, would produce the hybrid andesites-dacites of type I, with later upper crustal fractional crystallization processes leading to rhyolites. Type II magmas would be produced from type I starting compositions H1 and H2, characterized by a high basalt/adakite ratio, through assimilation of S1 and S2 type magmas (or other analogous crustal magmas) and concomitant fractional crystallization. Additionally, upper crustal fractional crystallization processes would occur at Tungurahua.

Several points of this preliminary model should be emphasized. First, basaltic magmas rising from the mantle wedge are considered here, even if basalts have never been found in the Quaternary Ecuadorian arc. However, a few basaltic andesites with olivine phenocrysts are present at some Quaternary volcanoes of Ecuador (Kilian *et al.*, 1995); such basaltic andesites also occur at Sangay, the southernmost volcano of the Ecuadorian arc (our work in progress). Second, parallelism between trends H1–S1 and H2–S2 implies a great compositional stability with time for $\beta 1$ and $\beta 2$ basaltic magmas. Third, the constancy of the basalt/adakite ratio in the starting compositions H1 and H2 for type II magmas, as well as the stability of the assimilation/fractional crystallization ratio along the type II magmatic trend, are remarkable and probably re-

flect similar thermal and structural conditions for the crust under the two volcanic rows. Fourth, the high MgO, Ni and Cr contents in Ecuadorian rocks remain unexplained; perhaps contamination by peridotitic material present near the mantle-crust interface may

be considered. Lastly, the Na₂O contents in Ecuadorian rocks, similar to those observed in NHA rocks, are unusually low for adakite related magmas (Kepezhinskas *et al.*, 1996) and also require an explanation.

INTRODUCTION

En Équateur, 55 centres volcaniques majeurs d'âge quaternaire forment une province nord-sud de 300 km de long et 120 km de large (fig. 1). Les premiers résultats d'une étude menée sur 12 appareils révèlent, pour l'ensemble des roches analysées, des caractéristiques géochimiques originales, qui témoignent d'une participation importante de magmas adakitiques à leur genèse. Dans cet article, nous exposons brièvement les données et proposons un modèle pétrogénétique préliminaire.

CARACTÈRES GÉNÉRAUX ET SIGNATURE ADAKITIQUE D'ENSEMBLE

Les volcans abordés sont le Cotacachi, le Cushnirumi, le Fuya Fuya, le Mojanda, le Pululahua et le Quilotoa, pour l'alignement occidental, le Soche, le Vieux Cayambe, le Nevado Cayambe, la caldéra de Chacana, le Cotopaxi et le Tungurahua, pour l'alignement oriental, plus éloigné de la fosse. Les 286 échantillons analysés ont des teneurs en silice comprises entre 55 et 77 % (analyses recalculées à 100 %, perte au feu exclue), andésites et dacites moyennement potassiques dominant largement (fig. 2). Les teneurs en K₂O, en éléments à grand rayon ionique (LILE) et en terres rares légères (LREE) sont, à teneurs en silice égales, généralement plus basses dans les roches de l'alignement occidental que dans celles de l'alignement oriental. Un bon critère de distinction entre les deux alignements est le rapport Ba/La, supérieur à 48 pour l'alignement occidental et inférieur à 48 pour l'alignement oriental.

Les séries magmatiques de l'arc intra-océanique des Nouvelles-Hébrides (Monzier *et al.*, sous presse), pour lequel le passage des magmas basaltiques d'origine mantellique aux roches différenciées s'effectue par cristallisation fractionnée intracrustale, constituent une bonne base de comparaison. Par rapport aux roches « normales » de cet arc, c'est-à-dire celles à faible rapport La/Yb, la plupart des roches d'Équateur présentent, à teneurs en silice égales, des concentrations comparables en TiO₂, Na₂O, Rb, Ba et LREE. En revanche, elles apparaissent fortement enrichies en MgO, Ni et Cr, enrichies en Al₂O₃, Sr et CaO, appauvries en Fe₂O₃* et K₂O, et fortement appauvries en Y et terres rares lourdes (HREE) (fig. 2). Les concentrations remarquablement faibles en Y et HREE, les rapports Sr/Y et La/Yb relativement élevés et le fait qu'andésites et dacites dominant largement, indiquent la participation de magmas adakitiques à la genèse de l'ensemble de ces volcanites (Defant et Drummond, 1990 ; Drummond et Defant, 1990).

COEXISTENCE DE DEUX GRANDS TYPES MAGMATIQUES

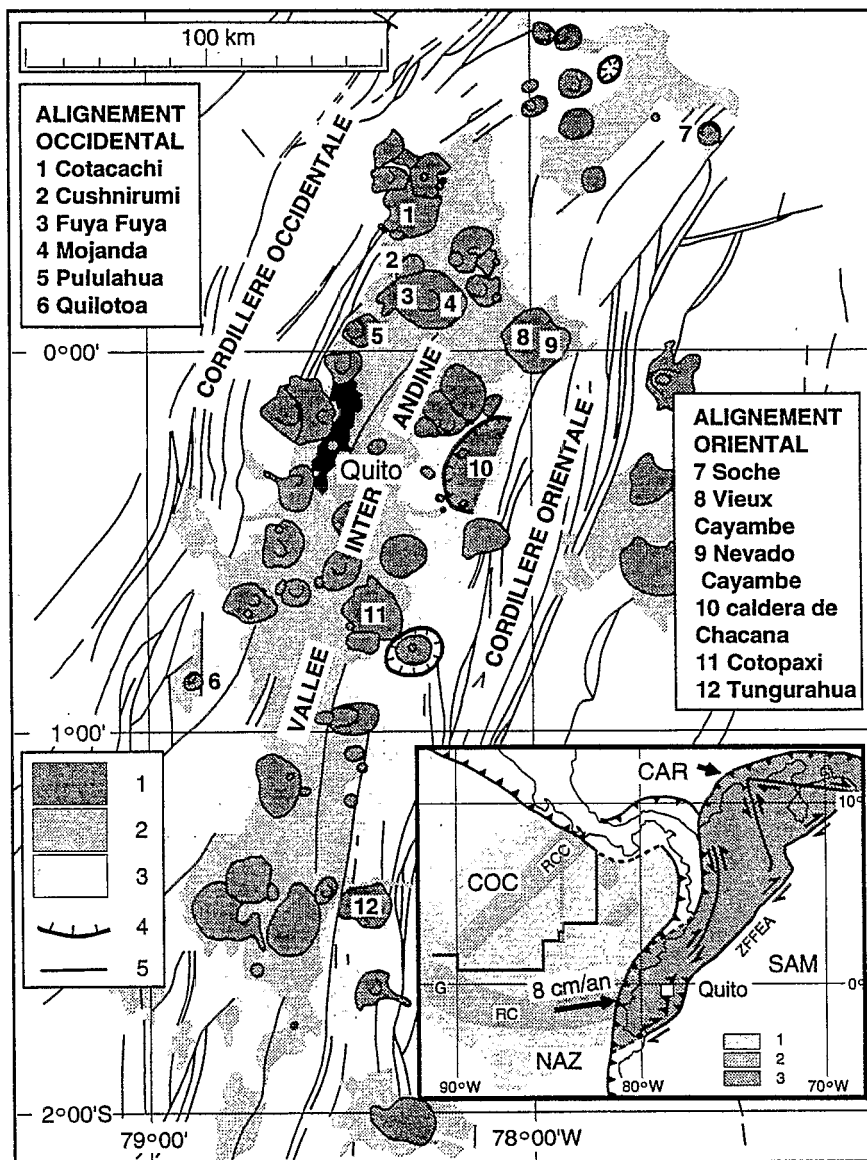
L'intensité variable de cette signature adakitique permet toutefois de distinguer deux grands types magmatiques en Équateur, présents à l'évidence dans chacun des alignements volcaniques (fig. 2). Le type I, à forte signature adakitique, caractérisé par des andésites acides et dacites à très faibles concentrations en Y et HREE, correspond aux volcans Cushnirumi, Fuya Fuya, Pululahua, Quilotoa, de l'alignement occidental, ainsi qu'aux volcans Soche, Nevado Cayambe et Chacana, de l'alignement oriental. Sous réserve, les volcanites du Cotacachi appartiennent

Fig. 1 Géodynamique du bloc andin.

SAM : plaque sud-américaine ; COC : plaque des Cocos ; NAZ : plaque Nazca ; 1 : Galapagos « gore » ; 2 : rides océaniques (RCC : ride des Cocos, RC : ride Carnegie) ; G : îles Galapagos ; CAR : plaque Caraïbe. Flèches grasses : convergences. 3 : bloc andin, ZFFEA : zone de failles du front est-andin.

L'arc volcanique équatorien (d'après Litherland et al., 1993, modifié). 1 : volcanites quaternaires, faciès proximaux ; 2 : volcanites quaternaires, faciès distaux ; 3 : volcanites mio-pliocènes ; 4 : caldéra d'effondrement ; 5 : faille. Les volcans étudiés sont signalés.

Geodynamics of the Andean Block. SAM: South America Plate; COC: Cocos Plate; NAZ: Nazca Plate; 1: Galapagos Gore; 2: oceanic ridges (RCC: Cocos Ridge; RC: Carnegie Ridge); G: Galapagos Islands; CAR: Caribbean Plate; large arrow: plate convergence; 3: Andean Block; ZFFEA: East Andean Front Fault Zone. The Ecuadorian volcanic arc (from Litherland et al., 1993, modified). 1: Quaternary volcanics, proximal facies; 2: Quaternary volcanics, distal facies; 3: Mio-Pliocene volcanics; 4: collapse caldera; 5: fault. Studied volcanoes are mentioned.



draient aussi à ce type I. Le type II, à faible signature adakitique, dominé par des andésites basiques à concentrations en Y et HREE sensiblement plus élevées que celles du type I, correspond aux volcans Mojanda (alignement occidental), Vieux Cayambe et Tungurahua (alignement oriental). Au Cotopaxi, les deux types magmatiques coexistent.

Sur le diagramme $(LaN/YbN)/YbN$ (fig. 3), les compositions de type I forment deux lignes voisines, situées entre des pôles à forts rapports LaN/YbN et faibles concentra-

tions en YbN , et le champ des basaltes des Nouvelles-Hébrides. La lignée A correspond aux compositions de type I des volcans de l'alignement occidental, la lignée B à celles des volcans de l'alignement oriental. Les compositions de type II dessinent un nuage dense (C) recouvrant en partie le champ des basaltes des Nouvelles-Hébrides. Sur le diagramme $(LaN/YbN)/LaN$ (fig. 3), les deux lignes parallèles et fortement redressées A et B correspondent respectivement aux compositions de type I les plus primitives (c'est-à-dire les moins

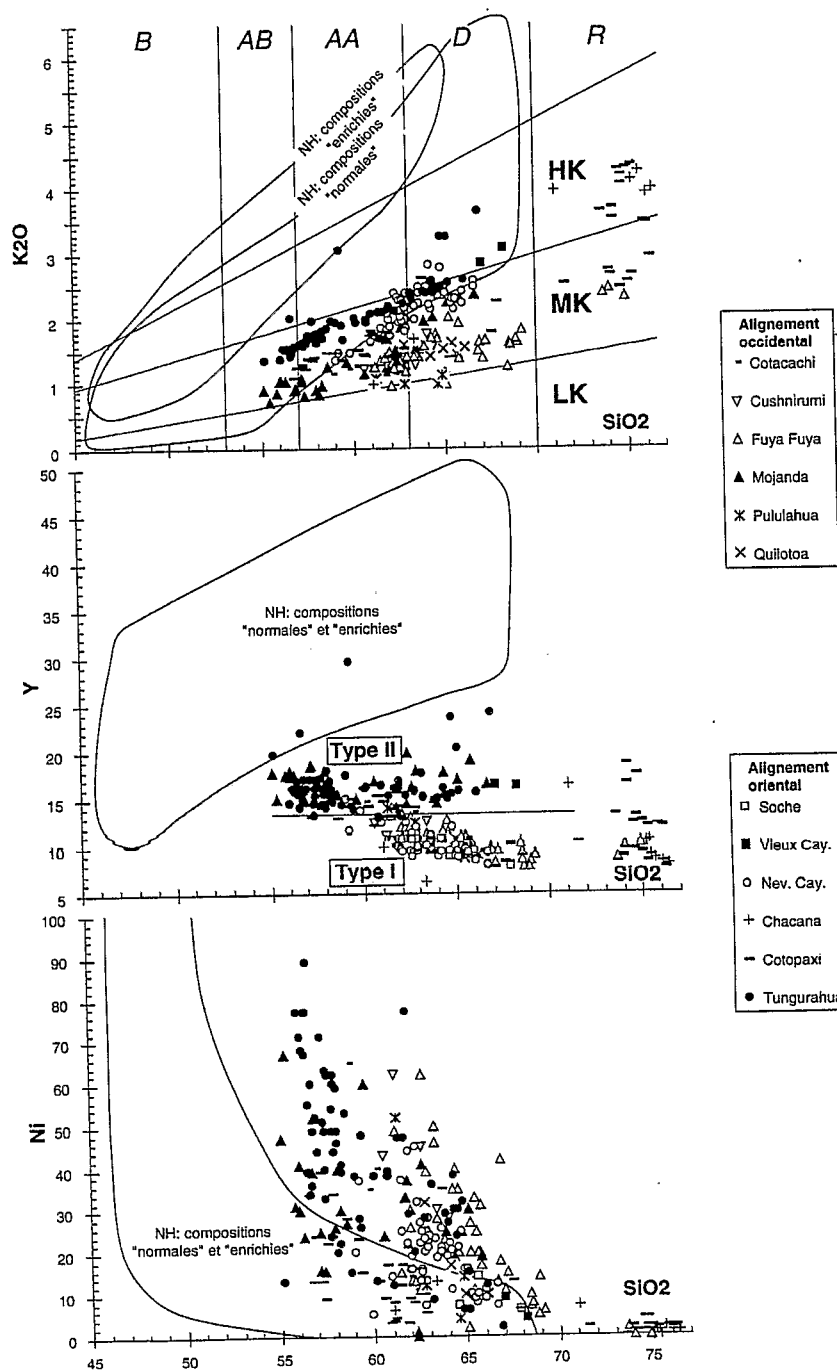


Fig. 2 Diagrammes $SiO_2\%/K_2O\%$, $SiO_2\%/Y$ ppm et $SiO_2\%/Ni$ ppm. B : basaltes ; AB : andésites basiques ; AA : andésites acides ; D : dacites ; R : rhyolites ; LK : roches pauvres ; MK : moyennement riches et HK : riches en potassium.

$SiO_2\%/K_2O\%$, $SiO_2\%/Y$ ppm and $SiO_2\%/Ni$ ppm diagrams. B: basalts; AB: basic andesites; AA: acid andesites; D: dacites; R: rhyolites; LK: low-K; MK: medium-K and HK: high-K compositions.

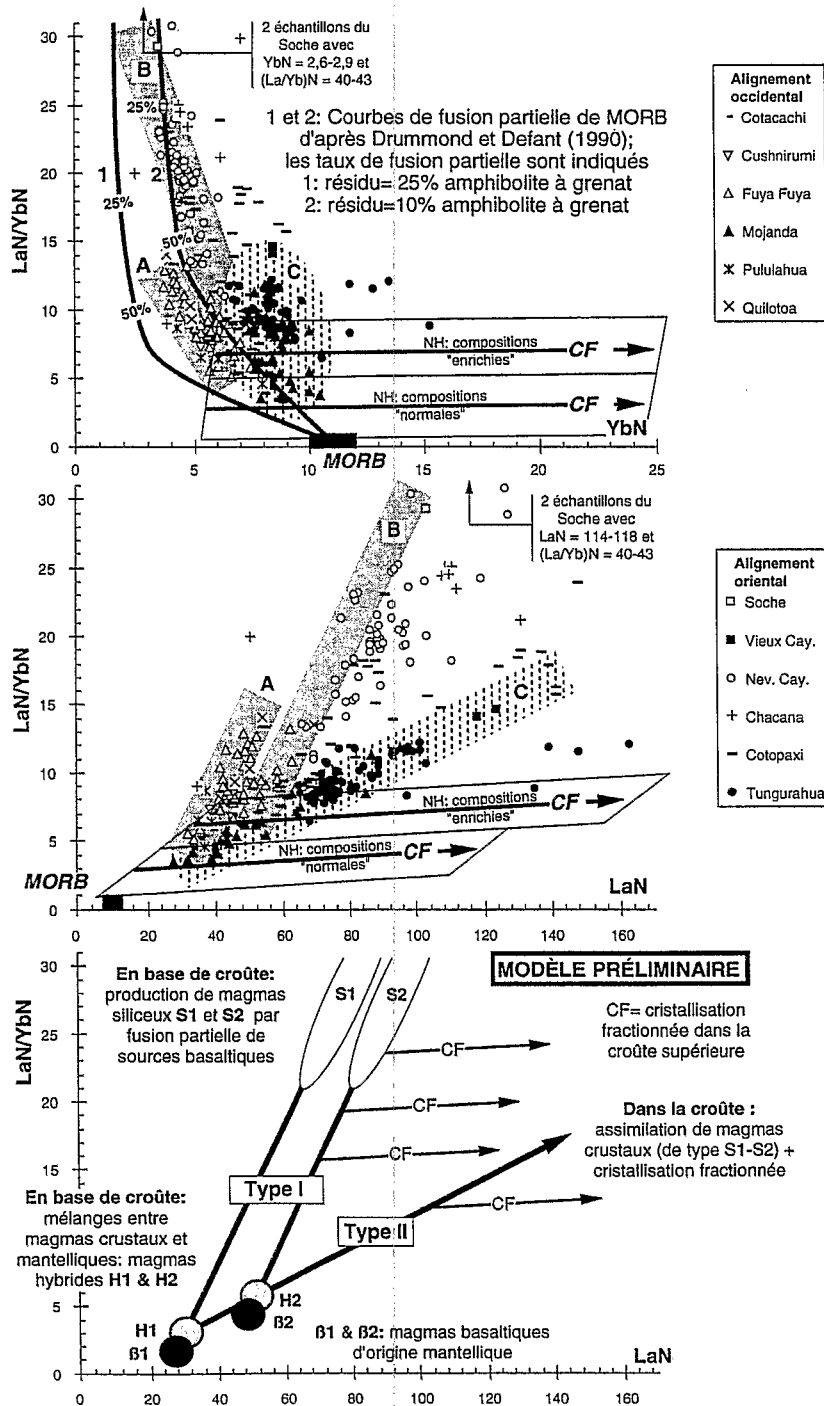
riches en La pour un rapport La/Yb donné). Sur le même diagramme, toutes les compositions du type II (y compris celles du Cotopaxi) dessinent une lignée C moyennement redressée, intermédiaire entre les lignées A et B et

celles, subhorizontales, caractéristiques des processus de cristallisation fractionnée dans l'arc des Nouvelles-Hébrides.

En ce qui concerne les évolutions géochimiques au cours du temps, certains sites vol-

Fig. 3 Diagrammes $(La/YbN)/YbN$, $(La/YbN)/LaN$ et modèle pétrogénétique préliminaire. Le champ des MORB typiques est représenté, ainsi que deux lignes de fusion partielle de MORB. CF : lignes des Nouvelles-Hébrides ayant évolué par cristallisation fractionnée ; A : lignée des compositions de type I les plus primitives des volcans de l'alignement occidental ; B : lignée des compositions de type I les plus primitives des volcans de l'alignement oriental ; C : lignée des compositions de type II.

Process identification diagrams $(LaN / YbN) / YbN$, $(LaN / YbN) / LaN$ and preliminary petrogenetic model. The field of typical MORB is highlighted as well as two trends of partial melting of MORB. CF: fractional crystallization suites of the New Hebrides island arc; A: type I primary composition trend for western row volcanoes; B: type I primary composition trend for eastern row volcanoes; C: type II composition trend.



caniques semblent caractérisés par une grande stabilité magmatique (le Tungurahua, de type II, par exemple). Au contraire, le site du Cayambe a successivement connu des

compositions de type II (Vieux Cayambe, fortement érodé), puis des compositions de type I (Nevado Cayambe, actif). Enfin, sur le site des volcans coalescents Mojanda et Fuya Fuya,

l'évolution semble s'être faite dans le même sens, les magmas de type II du Mojanda étant progressivement relayés par ceux de type I du Fuya Fuya (durant une période, les deux types magmatiques ont été émis simultanément).

DISCUSSION ET MODÈLE PÉTROGÉNÉTIQUE PRÉLIMINAIRE

La participation, à des degrés variables, de magmas adakitiques à la genèse de l'ensemble des volcanites équatoriennes pose le problème de leur origine. Il est généralement admis que les adakites se forment dans les zones de convergence, à relativement faible profondeur (70-80 km), et donc plutôt en contexte avant-arc, par fusion partielle d'une croûte océanique subductée, jeune (< 20 Ma) et anormalement chaude (800-1 000 °C), constituée de MORB métamorphisés en amphibolites à grenat (Defant et Drummond, 1990 ; Drummond et Defant, 1990 ; Maury *et al.*, 1996 ; Stern et Kilian, 1996). La lithosphère océanique qui subducte sous les Andes équatoriennes a effectivement moins de 20 Ma d'âge (Lonsdale et Klitgord, 1978) ; toutefois, les volcans semblent trop éloignés de la fosse (250-350 km) et le plan de Benioff trop profond (130-170 km ; Winter, 1990) pour qu'un tel modèle soit envisageable. Une alternative est fournie par le modèle proposé par Atherton et Petford (1993) pour la genèse d'ignimbrites et granites à caractères adakitiques du Pérou, situés à 300 km de la fosse : des matériaux basaltiques d'arc, récemment accrétés à la base d'une croûte épaisse (> 50 km), subissent une fusion partielle sous l'action de remontées basaltiques, générant des magmas à caractéristiques adakitiques. Ce processus pourrait être retenu pour l'Équateur, où une croûte épaisse (> 50 km ; Prévot *et al.*, 1996) est soumise à un flux de chaleur probablement très important (cf. l'extraordinaire densité de grands édifices volcaniques quaternaires). Il convient cependant de souligner que ces remontées mantelliques pourraient tout aussi bien entraîner la fusion de matériaux basaltiques d'arc plus anciens, voire de MORB métamorphisés, puisque des

lambeaux de croûte océanique accrétés existent certainement à la base de la croûte continentale, sous chacun des deux alignements volcaniques (Litherland *et al.*, 1993).

Des études isotopiques en cours permettront certainement d'affiner les hypothèses sur la genèse des roches volcaniques équatoriennes. Un modèle pétrogénétique préliminaire, inspiré de celui de Kilian *et al.* (1995), peut toutefois être envisagé sur la base du diagramme (LaN/YbN)/LaN (fig. 3). Ce modèle fait intervenir des magmas basaltiques issus d'une source mantellique (β_1 , β_2) et des magmas acides à caractères adakitiques (S1, S2) provenant de la fusion de matériaux basaltiques crustaux (de type arc et/ou MORB) sous l'action des remontées magmatiques sous-jacentes. Des taux variables de fusion partielle de ces matériaux basaltiques, combinés à des mélanges en proportions variables entre magmas adakitiques générés et magmas basaltiques, donneraient naissance, à la base de la croûte, à toute la gamme des andésites-dacites hybrides du type I. L'intervention postérieure de processus de cristallisation fractionnée dans la croûte supérieure, mènerait localement à la formation de rhyolites. Ces magmas de type I, fortement siliceux, conduisent typiquement à l'édification de volcans massifs, à dômes et coulées épaisses. Les magmas de type II résulteraient pour leur part de magmas hybrides de type I (H1, H2), dans lesquels le ratio basalte/adakite serait fort, et de processus concomitants d'assimilation et cristallisation fractionnée dans la croûte. L'assimilation serait celle de magmas de type S1, S2, ou d'autres magmas crustaux de natures voisines. Des processus de cristallisation fractionnée plus superficiels interviendraient au Tungurahua. Ces magmas de type II, généralement moins siliceux que ceux du type I, conduisent typiquement à l'édification de strato-volcans coniques.

Plusieurs points de ce modèle préliminaire méritent d'être soulignés. L'existence de remontées basaltiques en provenance du manteau est implicitement admise, bien qu'aucun basalte n'ait été échantillonné jusqu'ici. Toutefois, de rares andésites, basiques à olivine, sont connues dans certains édi-

fices volcaniques quaternaires de l'Équateur (Kilian *et al.*, 1995) ; elles semblent également exister au Sangay, édifice le plus méridional de l'arc équatorien (nos travaux en cours). Le parallélisme des deux lignées magmatiques de type I (H1-S1 et H2-S2) implique une remarquable constance dans le temps des différences géochimiques entre les deux alignements volcaniques, et donc une grande stabilité temporelle de la composition des remontées basaltiques mantelliques $\beta 1$ et $\beta 2$. La relative constance de la forte proportion basalte/adakite dans les magmas hybrides H1 et H2, parents des magmas de type II, ainsi que celle du rapport assimilation/cristallisation fractionnée le long de cette lignée magmatique II, sont également remarquables ; elles reflètent probablement une assez grande similitude dans les conditions thermiques et structurales de la croûte sous les deux alignements. La richesse anormale en Mg, Ni, Cr de l'ensemble des roches échantillonnées s'explique assez mal dans le cadre de ce modèle ; peut-être faut-il imaginer une

contamination par du matériel péridotitique présent à l'interface croûte-manteau ? Enfin, les teneurs en Na_2O des roches équatoriennes, en tous points comparables à celles des roches « normales » des Nouvelles-Hébrides, semblent anormalement basses en contexte adakitique (Kepezhinskas *et al.*, 1996) et demandent donc aussi une explication.

La participation plus ou moins importante de magmas adakitiques à la genèse des volcanites équatoriennes étudiées est clairement démontrée. Dans cette province quaternaire, les appareils à caractère adakitique marqué sont présents dans les deux alignements volcaniques définis. Il s'agit d'édifices monogénétiques ou terminaux de grands complexes volcaniques dont les stades antérieurs ne présentent qu'un caractère adakitique faible. Une évolution temporelle des magmas vers des compositions plus adakitiques existe donc ponctuellement, liée peut-être à une accentuation locale de la tendance à l'accumulation sous-crustale des magmas d'origine mantellique.

Remerciements : Ces résultats sont issus de travaux menés en collaboration par l'Orstom et l'Institut géophysique de l'École polytechnique nationale de Quito. Nous remercions M. le professeur R. Maury pour les commentaires constructifs émis sur un premier manuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATHERTON, M.P. et PETFORD, N., 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust, *Nature*, 362, p. 144-146.
- DEFANT M.J. et DRUMMOND, M.S., 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere, *Nature*, 347, p. 662-665.
- DRUMMOND, M.S. et DEFANT, M.J., 1990. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons, *J. Geophys. Res.*, 95, B13, p. 21503-21521.
- KEPEZHINSKAS, P.K., DEFANT, M.J. et DRUMMOND, M.S., 1996. Progressive enrichment of island arc mantle by melt-peridotite interaction inferred from Kamchatka xenoliths, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, n° 7, p. 1217-1229.
- KILIAN, R., HEGNER, E., FORTIER, S. et SATIR, M., 1995. Magma evolution within the accretionary mafic basement of Quaternary Chimborazo and associated volcanoes (Western Ecuador), *Rev. Geol. Chile*, 22, n° 2, p. 203-218.
- LITHERLAND, M., EGÜEZ, A. *et al.*, 1993. Mapa geológica de la República del Ecuador, 1/1 000 000. British Geological Survey (Keyworth, Nottingham) y CODIGEM (Quito, Ecuador), Quito.
- LONSDALE, P. et KLITGORD, K. D., 1978. Structure and tectonic history of the eastern Panama Basin, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 98, p. 981-999.
- MAURY, R.C., SAJONA, F.G., PUBELLIER, M., BELLON, H. et DEFANT, M.J., 1996. Fusion de la croûte océanique dans les zones de subduction/collision récentes : l'exemple de Mindanao (Philippines), *Bull. Soc. géol. France*, 167, n° 5, p. 579-595.
- MONZIER, M., ROBIN, C., EISSEN, J.P. et COTTEN, J., 1997. Geochemistry of the volcanic New Hebrides Central Chain (Southwest Pacific), *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, (sous presse).
- PREVOT, R., CHATELAIN, J.-L., GUILLIER, B. et YEPES, H., 1996. Tomographic des Andes équatoriennes : évidence d'une continuité des Andes centrales, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 323, série IIa, p. 833-840.
- STERN, C.R. et KILIAN, R., 1996. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral Volcanic Zone, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 123, p. 263-281.
- WINTER, T., 1990. Mécanismes des déformations récentes dans les Andes équatoriennes, *Thèse*, Université d'Orsay, Paris-Sud, 205 p.