

Mise en évidence de deux lignées magmatiques dans le volcanisme du Jurassique inférieur de la zone subandine équatorienne

Nathalie Romeuf, Philippe Münch*, Pierre Soler, Étienne Jaillard, Raphaël Pík et Luis Aguirre

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 324, série II a,
p. 361 à 368,
1997

Résumé La formation Santiago, d'âge Norien à Sinémurien moyen, affleure en zone subandine équatorienne. Son sommet renferme les seuls témoins d'un volcanisme du Jurassique inférieur actuellement connus en Équateur. Les niveaux volcaniques observés sont constitués de basaltes et de roches pyroclastiques acides. Cette étude met en évidence la coexistence de laves appartenant à deux lignées magmatiques au sommet de la formation Santiago ; les premières sont des tholéïtes continentales, mises en place en régime tectonique extensif, alors que les secondes sont des laves calco-alcalines et sont liées à l'existence d'une zone de subduction et à l'établissement d'un arc magmatique qui perdurera au Jurassique moyen.

Mots clés : Pétrologie, Tholéïtes continentales, Calco-alcalin, Jurassique inférieur, Andes, Équateur.

N.R. et R.P. : Laboratoire de pétrologie magmatique, URA-CNRS 1277, FR 17, faculté des sciences Saint-Jérôme, université d'Aix-Marseille III, 13397 Marseille cedex 20, France.

N.R. et P.M. : Centre de sédimentologie-paléontologie, UPRESA 6019, université de Provence, faculté des sciences Saint-Charles, 3, place Victor-Hugo, 13 Marseille cedex France. E-mail : sedpal@newsup.univ-mrs.fr

P.S. et E.J. : Orstom, UR1H, département TOA, 213, rue Lafayette, 75480 Paris cedex 10, France.

L.A. : Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile, Casilla 13518, Correo 21, Santiago du Chili, Chili.

* Correspondance et tirés à part.

Abstract Evidence of two magmatic affinities within early Jurassic volcanism from the Subandean Zone, Ecuador

The Santiago Formation, Liassic in age, crops out in the Subandean Zone of Ecuador. The top of the formation includes the only remnant of a volcanic activity of Lower Jurassic age known so far in Ecuador. These rocks are basalts and acid pyroclastic rocks. The present study shows that these volcanics have two different magmatic affinities: the former are continental tholeiites in an extensive tectonic regime whereas the latter are subduction-related calc-alkaline lavas and may correspond to the first volcanic manifestations of a volcanic arc which will dominate during the Middle Jurassic.

Keywords: Petrology, Continental tholeiites, Calc-alkaline, Early Jurassic, Andes, Ecuador.

**Abridged
English
Version**

THE Andes are classically divided in to three different segments (Aubouin, 1973) which are from north to south: the Northern Andes (Colombia and Ecuador), the Central Andes (Peru) and the Southern Andes (Chile). According to the last geodynamic reconstructions (Jaillard *et al.*, 1990 and references therein), these segments have experienced several episodes dominated by extensional tectonics, strike-slip faulting, subduction of an oceanic plate below the Andean margin with establishment of magmatic arc and/or terranes accretion throughout the Jurassic. This note presents the study of volcanic rocks intercalated in a sedimentary group

known as the Santiago Formation and early Jurassic in age (Tschopp, 1953). These volcanic rocks represent the only expression of the volcanic activity in Ecuador during the early Jurassic. The aim of this note is to characterize petrologically the volcanic rocks in order to bring new constraints on the geodynamic evolution of the Northern Andes during the lower Jurassic.

The Santiago Formation is located in southeastern Ecuador in the Subandean Zone (fig. 1). This formation is defined as a mainly sedimentary unit consisting of dark massive limestones on a marine shelf (Tschopp, 1953; Faucher and Savoyat, 1973). Because of dis-

Note

présentée par
Jean Aubouin.

remise le 8 juillet 1996,
acceptée après révision
le 4 novembre 1996.

1250-8050/96/03230361 • © Académie des sciences/Elsevier, Paris

361



Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : Bx-19754 Ex: Unique

continuous outcrops and the complex geological structure of the region, it has not been possible to establish a detailed lithostratigraphic column. Nevertheless, it has been shown that the Santiago Formation is composed of two units (Romeuf, 1994): the lower unit consists of upper Norian shelf massive limestones (Aspden and Ivimey-Cook, 1992) and the upper unit, Upper Hettangian in age (Pavia *et al.*, 1992) is composed of turbiditic rocks intercalated with volcanic rocks (fig. 2). Above these turbidites there are unnamed beds deposited in deltaic environment and Middle to Upper Sinemurian in age (Romeuf, 1994). The volcanic intercalations consist of basaltic lava flows (pillow lavas, prismatic and massive flows) and of greenish acid pyroclastic rocks (unwelded tuffs and ignimbrites).

The basic rocks are microlitic to porphyritic basalts and include phenocrysts of pseudomorphosed olivine, K-poor calcic plagioclase An₆₇₋₈₅Ab₁₇₋₂₃Or_{0-0.5}, and sometimes augite to diopside (Morimoto *et al.*, 1988) Wo₃₅₋₄₉En₃₁₋₅₀Fs₁₀₋₂₇ in a groundmass composed of the same minerals and Fe-Ti oxides and glass. The Cr and Ti contents of the core of the clinopyroxenes appear to be highly variable (fig. 3) and may reflect different geodynamic settings (Leterrier *et al.*, 1982). The mineralogy of the acid pyroclastic rocks (ignimbrites and unwelded tuffs) is composed of phenocrysts of quartz, plagioclase, biotite and amphibole and of basic to acid clasts in a devitrified glassy or ashy matrix. All these lavas have suffered a very low-grade metamorphism responsible for the apparition of secondary minerals as groundmass patches, amygule infillings and pseudomorphs after igneous phases. However, the magmatic textures are always preserved.

Based on the chemical composition of the less altered rocks, two groups of basaltic lavas can be distinguished. The former group, corresponding to continental tholeiites (Continental Flood Basalts, 1988), is characterized by a low Th/Ta ratio (Th/Ta = 1.8-3.5). Compared to MORB, these lavas are slightly enriched in LILE and do not show any Ta and Nb anomalies (fig. 4). The second group, corresponding to subduction-related calc-alkaline

basalts, is characterized by high Th/Ta ratios (Th/Ta = 7.1-7.3). Compared to MORB, they have a rather high LILE enrichment, with Nb and Ta negative anomalies (fig. 4). Only two acidic rocks have been suitable for analysis and are dacitic in composition with a calc-alkaline magmatic affinity (Th/Ta > 9.8). The existence of the two groups of basaltic lavas is also well established in the petrogenetic diagram (fig. 5) defined by Cabanis and (Thiéblemont, 1988).

According to the last geodynamic reconstructions (references in Jaillard *et al.*, 1990), the evolution of the Northern Andes during the Early Jurassic is influenced by the Tethyan rifting which induced an extensional regime in the Caribbean region and therefore in the Colombo-Ecuadorian segment. Thus, the occurrence of continental tholeiites within the Santiago Formation seems to confirm this model (fig. 6a). However, the calc-alkaline lavas also reported within the Santiago Formation may rather suggest the existence of a subduction zone. This calc-alkaline volcanism may be related to calc-alkaline intrusions that have been dated at 190-150 Ma to the west of the Santiago Formation (Aspden *et al.*, 1992). Moreover, a Middle Jurassic calc-alkaline volcanism dated at 172 ± 2 Ma has been recognized in Ecuador (Romeuf *et al.*, 1995). Thus, calc-alkaline volcanic lavas may represent the first evidence of the subduction which was to characterize the geodynamic evolution of the Northern Andes during the Middle Jurassic (fig. 6b; Jaillard *et al.*, 1990; Aspden *et al.*, 1992).

The study of the volcanism of the Santiago Formation confirms the existence of an extensional regime during the Early Jurassic in the Colombo-Ecuadorian segment, in agreement with Jaillard *et al.* (1990). Moreover, it shows that at the same time the subduction of an oceanic plate under the northern Andes began, in agreement this time with Aspden *et al.* (1992). This study therefore brings into evidence the coexistence of the two types of volcanism within the upper part of the Santiago Formation, reflecting the transition between an extensional geodynamic setting and a subduction related one.

I. INTRODUCTION

La Cordillère des Andes constitue une zone orogénique classiquement divisée en trois segments séparés par des déflexions (Aubouin, 1973). Ces trois segments sont, du nord au sud : les Andes septentrionales, ou segment colombo-équatorien, les Andes centrales, ou segment péruvien, et les Andes méridionales, ou segment chilien.

D'après les dernières reconstitutions géodynamiques (références et synthèse dans Jaillard *et al.*, 1990), ces différents segments auraient connu, au cours du Jurassique, plusieurs périodes, dominées selon le lieu et l'époque, par une tectonique en extension, une tectonique en décrochement, la subduction d'une plaque océanique sous la marge andine avec établissement d'arcs magmatiques, et/ou par l'accrétion de blocs.

Jaillard *et al.* (1990) proposent, essentiellement sur la base de données sédimentologiques et structurales, qu'au cours du Jurassique inférieur, les Andes septentrionales correspondaient à une zone en extension. Cependant, au niveau des Andes centrales, dans le sud du Pérou, la présence d'un volcanisme calco-alcalin réputé liasique serait en faveur de l'existence d'une zone de subduction (Boily *et al.*, 1984). Les manifestations volcaniques étudiées dans le cadre de ce travail constituent, à notre connaissance, le seul témoin d'un volcanisme du Jurassique inférieur en Équateur. Cette note présente donc la pétrographie et la géochimie de ces laves, afin de préciser l'évolution géodynamique des Andes septentrionales au cours du Jurassique inférieur.

II. CADRE GÉOLOGIQUE

La formation Santiago, dont l'épaisseur maximale a été estimée à 2 700 m (Tschopp, 1953), affleure seulement au sud-est de l'Équateur, dans la zone subandine (fig. 1). Sa base est inconnue et elle est recouverte de la formation Misahualli en zone subandine et, plus à l'est, dans la plaine amazonienne, de la

formation Chapiza (Faucher et Savoyat, 1973). La formation Santiago a été définie comme une unité carbonatée marine de plate-forme, constituée de calcaires siliceux gris, montrant des intercalations de grès et de lutites (Tschopp, 1953). Des niveaux volcaniques (basaltes et roches pyroclastiques acides) ont également été décrits dans la partie supérieure de cette formation (Tschopp, 1953 ; Faucher et Savoyat, 1973).

Dans le cadre de cette étude, une coupe a été effectuée le long de la nouvelle piste Méndez- Santiago. L'affleurement fragmentaire de cette formation, dû à un couvert végétal important et à une structure géologique complexe, ne permet pas, ici comme dans toute la zone d'affleurement (Tschopp, 1953 ; Pavia *et al.*, 1992), d'établir de coupe continue

Fig. 1 Localisation de la formation Santiago en zone subandine équatorienne.

Location of the Santiago Formation, southeastern Ecuador.



et détaillée. Cependant, il apparaît que la formation Santiago peut être divisée en deux unités correspondant à des environnements paléogéographiques distincts (Romeuf, 1994). La partie inférieure est constituée de calcaires de plate-forme d'âge Norien supérieur (Aspden et Ivimey-Cook, 1992), alors que la partie supérieure, d'âge Hettangien (Pavia et al., 1992), est constituée de turbidites marquant un approfondissement du milieu et dans lesquelles est intercalé l'ensemble des niveaux volcaniques étudiés (fig. 2). Cette série turbiditique est suivie d'une série, non décrite jusqu'alors, déposée en environnement deltaïque, arrivant parfois à émergence, d'âge Sinémurien moyen à supérieur (déterminations S. Elmi, in Romeuf, 1994) et au sein de laquelle des niveaux volcaniques ont été reconnus vers le sommet, au passage à la formation Misahualli (Jaillard, communication personnelle, fig. 2). L'ensemble des roches volcaniques étudiées se sont mises en place en milieu marin et sont constituées de coulées de basaltes de quelques mètres d'épaisseur et de morphologie variable (basaltes en coussins,

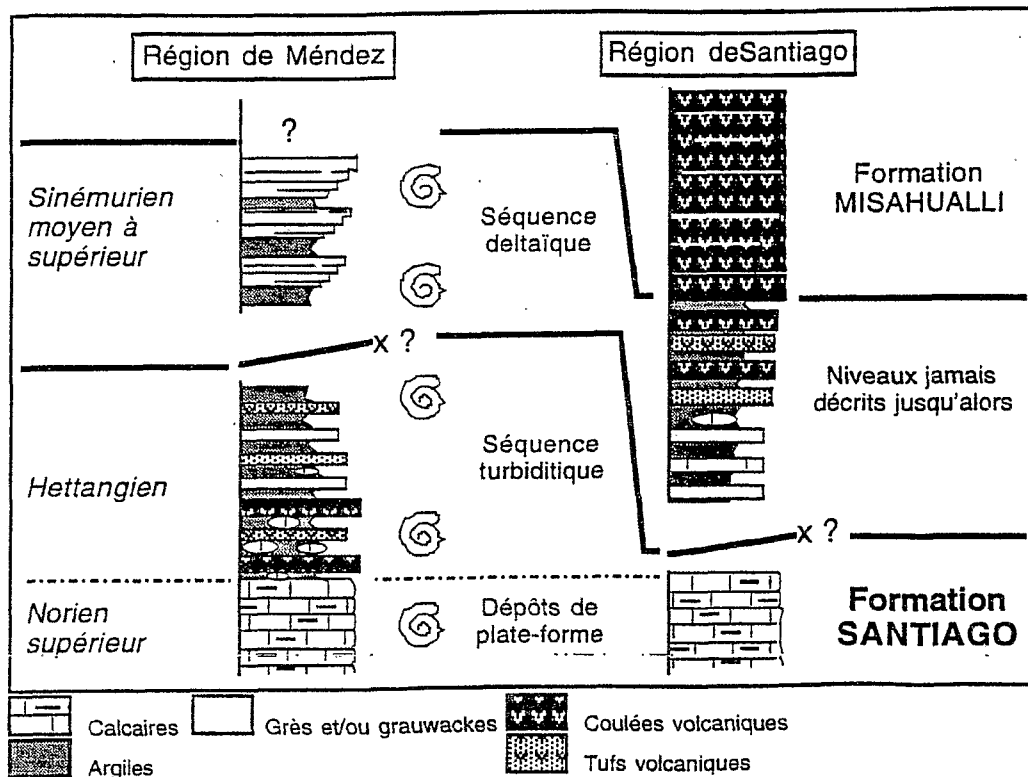
coulées massives et coulées prismatiques), et de roches pyroclastiques (tufs et ignimbrites), acides verdâtres. On retrouve également des fragments de ces roches volcaniques au sein de niveaux de brèches et de grès interstratifiés dans la formation Santiago.

III. PETROLOGIE

Les basaltes sont des roches microlitiques dont la mésostase est composée de plagioclase, d'olivine, de clinopyroxène, d'oxydes de Fe-Ti et de verre. Ils sont faiblement porphyriques à phénocristaux de plagioclase et d'olivine et, dans certains cas, également des phénocristaux de pyroxène. Les tufs et ignimbrites sont aussi des roches porphyriques à phénocristaux de quartz, plagioclase, amphibole et biotite dans une matrice cendreuse ou vitreuse, et ils comportent également de nombreux clastes de roches volcaniques. Cependant, l'ensemble de ces roches volcaniques a été affecté par un métamorphisme de très bas degré (faciès zéolite et/ou prehnite-

Fig. 2 Colonne lithostratigraphique synthétique de la formation Santiago.

Synthetic lithostratigraphic column of the Santiago Formation.



pumpellyite) se traduisant par l'apparition de minéraux secondaires en remplissage d'amygdales, en remplacement du verre et de la matrice des roches pyroclastiques et en pseudomorphose des minéraux magmatiques. Le degré d'altération des laves basaltiques est variable et semble être fonction de leur perméabilité initiale (Romeuf, 1994), alors que les termes acides apparaissent complètement altérés; cependant, la texture magmatique est toujours préservée.

Au sein des basaltes, l'olivine est systématiquement transformée. Le plagioclase, de composition générale $An_{67-85}Ab_{17-23}Or_{0-0.5}$, est un plagioclase très calcique (bytownite à labrador), pauvre en potassium. Le pyroxène apparaît sous forme de phénocristaux automorphes et de microlites dans la mésotase. Selon la classification des pyroxènes (Morimoto et al., 1988), il s'agit de clinopyroxène de composition générale $Wo_{35-49}En_{31-50}Fs_{10-27}$, situés dans le domaine de l'augite, à proximité du domaine du diopside. L'étude des cœurs des phénocristaux de clinopyroxène met en évidence l'existence d'une grande variété de composition en Ti et Cr. On peut remarquer, en particulier, l'existence de pyroxènes riches en Ti+Cr dans le cas de certains basaltes (fig. 3) pouvant indi-

quer un contexte de mise en place différent de celui des autres basaltes (Leterrier et al., 1982).

IV. GÉOCHIMIE

Seules les roches les moins altérées ont été sélectionnées pour les analyses chimiques. Par conséquent, cette étude porte essentiellement sur les laves basaltiques: 18 échantillons (16 basaltes et 2 ignimbrites provenant de la série turbiditique du sommet de la formation Santiago) ont donc été analysés par ICP-OES, à l'université d'Aix-Marseille III, suivant la méthode de Germanique (1994) et 8 d'entre eux ont aussi été analysés par activation neutronique à l'université de Cornell (Ithaca, NY, USA), suivant la méthode de Kay et al. (1987).

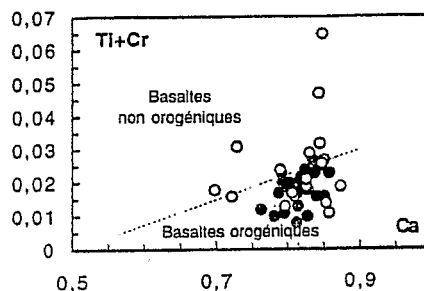


Fig. 3 Diagramme (Ti+Cr)-Ca pour les phénocristaux d'augite des laves basaltiques de la formation Santiago (champs d'après Leterrier et al., 1982). Symboles pleins : basaltes d'affinité calco-alcaline, symboles ouverts : tholéïtes continentales.

(Ti+Cr)-Ca plot for augite phenocrysts of the basic lavas from the Santiago Formation (fields after Leterrier et al., 1982). Filled circles: basalts with a calco-alcaline affinity, open circles: continental tholeiites.

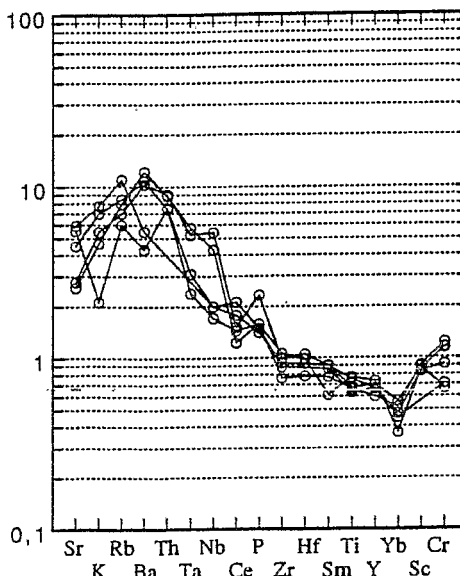
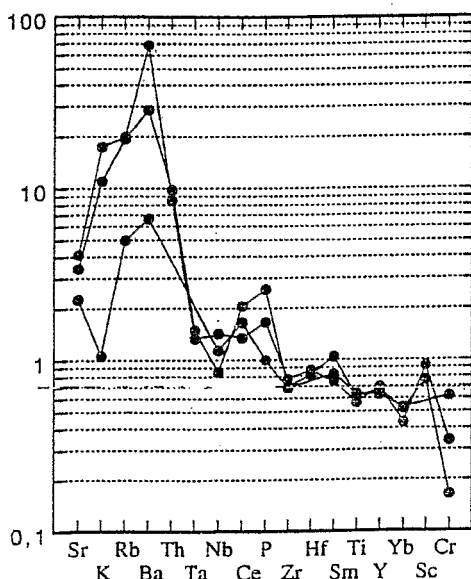


Fig. 4 Spectre multi-éléments de laves de la formation Santiago, normalisées aux MORB, d'après Pearce (1983). Symboles identiques à ceux de la figure 3.

MORB-normalized spidergram for basalts from the Santiago Formation (after Pearce, 1983). Symbols as in figure 3.

Tableau Analyses représentatives des différents types de lave rencontrés dans la partie supérieure de la formation Santiago. Les valeurs en gras correspondent aux éléments analysés par activation neutronique, les autres, aux éléments analysés par ICP-OES.

Representative analyses of the different types of lava from the upper part of the Santiago Formation. The values in bold correspond to the elements analyzed by Neutronic activation, others to elements analyzed by ICP-OES.

N° Ech.	Tholéite	Basalte	Dacite
	continentale	calco-alcalin	calco-alcaline
	MI34	MI65	MI52
SiO ₂	48,32	48,66	64,45
TiO ₂	1,01	0,92	0,78
Al ₂ O ₃	16,17	17,96	15,18
Fe ₂ O ₃	2,3	2,5	1,17
FeO	6,52	7,08	2,92
MnO	0,16	0,12	0,06
MgO	7,14	8,27	3,01
CaO	6,56	4,03	0,99
Na ₂ O	4,61	4,16	4,66
K ₂ O	0,32	1,65	3,73
P ₂ O ₅	0,17	0,31	0,22
H ₂ O ⁺	6,4	4,78	3,22
H ₂ O ⁻	0,3	0,42	0,05
Total	99,98	100,86	100,44
V	262	266	84
Rb	12	39	85
Zr	84	63	200
Nb	7	3	9
Y	21	20	41
Zn	74	56	22
Li	27	30	n.d.
Cu	53	52	10
Cr	195	54	16
Ni	144	108	66
Sr	611	455	94
Ba	85	674	1082
Cs	0,63	1,49	0,46
Co	35,44	32,75	7,35
Sc	35,37	30,67	17,09
U	0,5	0,6	2,63
Th	1,51	1,96	8,2
Ta	0,56	0,27	0,81
Hf	2,22	1,96	5,71
La	10,16	13,28	31,97
Ce	23,65	30,17	65,62
Nd	10,94	13,81	28,27
Sm	3,35	4,07	6,82
Eu	0,93	1,26	1,63
Tb	0,61	0,64	1,1
Yb	2,18	2,21	4,18
Lu	0,32	0,32	0,59
Th/Ta	2,7	7,26	10,12
(La/Yb) _N	2,82	3,64	3,78

La précision analytique est inférieure à 5 % (en valeur relative) pour les analyses effectuées par activation neutronique et, dans le cas des analyses par ICP-OES, la précision analytique relative (établie à partir de l'analyse répétée cinq fois d'étalons internationaux de basalte et granite) était inférieure à 4 % pour les éléments majeurs et traces et était inférieure à 5,5 % pour les terres rares, à l'exception du lutétium (12 %). De plus, nous nous sommes limités à l'utilisation des seuls éléments chimiques réputés peu ou pas mobiles (Zr, Nb, Th, Ta..., Wood *et al.*, 1976) afin de déterminer l'affinité magmatique des laves de la formation Santiago.

Sur la base de leur composition chimique (**tableau**), les basaltes de la formation Santiago peuvent être clairement divisés en deux groupes distincts. Un premier groupe de basaltes présente des teneurs en SiO₂ comprises entre 49,5 et 53,7 % (base anhydre), des teneurs relativement élevées en Al₂O₃ (16,8-18,1) et qui se caractérisent notamment par un rapport Th/Ta faible (1,7 à 3,5). Les spectres multi-éléments de ces laves montrent un enrichissement modéré en éléments LIL par rapport aux MORB et l'absence d'anomalie négative en Ta et Nb (**fig. 4**). L'ensemble de ces caractéristiques chimiques suggère une affinité de tholéites continentales pour ces basaltes (Continental Flood Basalts, 1988) qui est confirmée par le report de ces analyses dans le diagramme pétrogénétique de Cabanis et Thiéblemont (1988) (**fig. 5**). Enfin, il faut noter que ces basaltes sont ceux dans lesquels on trouve les pyroxènes riches en Ti+Cr (**fig. 3**) indiquant, d'après Leterrier *et al.* (1982), une mise en place en contexte anorogénique.

Les basaltes du deuxième groupe ont des teneurs en SiO₂ comprises entre 48-56 %, et sont riches en Al₂O₃ (17,6-20,1) et se caractérisent par un rapport Th/Ta relativement élevé (7,1 à 7,3). Les spectres multi-éléments normalisés au MORB (**fig. 4**) de ces laves sont caractérisés par un fort enrichissement en éléments LIL par rapport au MORB et par des anomalies négatives systématiques en Nb et Ta. Ces caractéristiques, ainsi que la position

de ces analyses dans le diagramme discriminant $Th : Tb \cdot 3 : Ta \cdot 2$ (fig. 5), indiquent qu'il s'agit de laves calco-alcalines. Les deux ignimbrites analysées sont de nature dacitique ($SiO_2 = 66-68\%$) et présentent aussi une affinité de roches calco-alcalines (rapport $Th/Ta > 9,8$), alors qu'elles reposent directement sur des basaltes d'affinité tholéitique continentale.

Ainsi, cette étude met en évidence la coexistence de basaltes et dacites d'affinité calco-alcaline et de basaltes d'affinité tholéitique continentale, au sein des turbidites de la partie supérieure de la formation Santiago.

V. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Au Lias, les seuls témoins du magmatisme de la partie méridionale du segment colombo-équatorien des Andes sont les laves basaltiques et dacitiques de la partie supérieure de la formation Santiago. L'étude minéralogique et chimique a permis de mettre en évidence l'existence de deux groupes de laves interstratifiées les unes avec les autres. Ces deux groupes présentent des affinités magmatiques distinctes : le premier correspond à des tholéites continentales typiques de zone d'extension, le second à des roches calco-alcalines provenant de la subduction d'une plaque océanique sous la marge continentale sud-américaine.

Pendant la période (Norien à Sinémurien) qui correspond au dépôt de la formation Santiago, l'évolution géodynamique du nord de l'Amérique du Sud serait liée à l'ouverture téthysienne (références dans Jaillard *et al.*, 1990). D'après Jaillard *et al.* (1990), cette ouverture téthysienne induirait un régime tectonique extensif, probablement associé à des mouvements décrochants, dans le domaine caraïbe et, par conséquent, dans le segment colombo-équatorien. Ainsi, la présence de laves basaltiques présentant une affinité de tholéite continentale au sein de la formation Santiago semble confirmer l'hypothèse d'un contexte tectonique extensif, au cours du Jurassique inférieur, au niveau des Andes septentrionales (fig. 6a). Cependant,

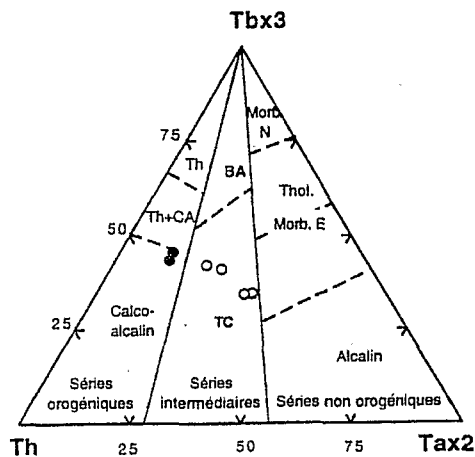


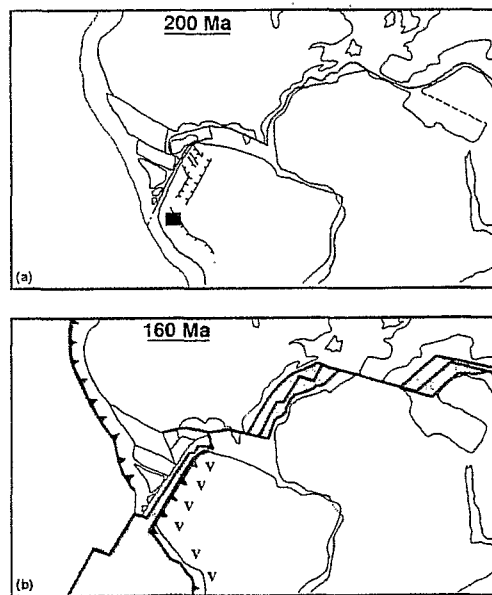
Fig. 5 Diagramme $3 \cdot Tb : Th : 2 \cdot Ta$ (Cabanis et Thiéblemont, 1988) pour les basaltes de la formation Santiago. Symboles identiques à ceux de la figure 3.

Triangular plot $3 \cdot Tb : Th : 2 \cdot Ta$ (Cabanis and Thiéblemont, 1988) for basalts from the Santiago Formation. Symbols as in figure 3.

ces laves sont associées avec d'autres, d'affinité calco-alcaline qui, elles, sont en faveur d'une zone de subduction. Ce volcanisme calco-alcalin est à rapprocher des batholites granodioritiques d'affinité calco-alcaline, que l'on trouve à l'ouest de la formation Santiago, en Équateur, et qui ont été récemment datés de 190 à 150 Ma et interprétés comme liés à une subduction sous la marge andine (Aspden *et al.*, 1987 et 1992). De plus, la période Jurassique moyen en Équateur est caractérisée par la présence d'un volcanisme important, d'affinité calco-alcaline et daté au plus tôt de 172 ± 2 Ma (Fm Misahualli ;

Fig. 6 Essai de reconstruction géodynamique pour la marge andine du Jurassique inférieur à moyen (modifié d'après Romeuf, 1994 et Jaillard *et al.*, 1990). a : Hettangien (carré noir : zone de mise en place du volcanisme de la formation Santiago), b : Bajocien-Bathonien (V : volcanisme d'arc).

Schematic geodynamic reconstruction for the Andean margin during early to Middle Jurassic (modified after Romeuf, 1994 and Jaillard *et al.*, 1990). a : Hettangian (black square = area of emplacement of the volcanism from the Santiago Formation), b : Bajocian-Bathonian (V : arc volcanism).



Romeuf *et al.*, 1995). Les laves calco-alkalines de la formation Santiago pourraient alors être les premières manifestations volcaniques liées à la subduction qui caractérisera l'évolution géodynamique du Jurassique moyen des Andes septentrionales (fig. 6b ; Aspden *et al.*, 1987 ; Jaillard *et al.*, 1990).

Cette étude confirme l'existence d'un régime tectonique extensif au cours du Jurassique inférieur dans le segment colombo-équatorien, comme le proposent Jaillard *et al.* (1990) dans leur modèle d'évolution géody-

namique des Andes septentrionales et centrales au Jurassique. De plus, elle montre qu'à la même époque, débute la subduction d'une plaque océanique sous ce segment des Andes, en accord cette fois avec le modèle proposé par Aspden *et al.* (1987). Ainsi, dans les dépôts turbiditiques du sommet de la formation Santiago, on met en évidence la coexistence de deux types de volcanisme, marquant la transition entre un régime extensif d'obédience téthysienne et le début de la subduction d'obédience pacifique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASPDEN, J.A., McCOURT, W.J. et BROOK, M., 1987. Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of western Colombia. *J. Geol. Soc. London*, 144, p. 893-905.
- ASPDEN, J.A., HARRISON, S.H. et RUNDLE, C.C., 1992. New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador. *J. South Am. Earth Sci.*, 6, p. 77-96.
- ASPDEN, J.A. et IVIMEY-COOK, H.C., 1992. Nuevos datos paleontológicos del Centro y Sur-este del Ecuador. *Bol. Geol. Ecuatoriano Quito*, 3, n° 1, p. 33-42.
- AUBOUIN, J., 1973. Présentation de la Cordillère des Andes. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 2, p. 5-10.
- BOILY, M., BROOKS, C. et JAMES, D.E., 1984. Geochemical characteristics of the late Mesozoic andean volcanics. In : *Andean magmatism, chemical and isotopic constraints*, Harmon R.S., Barrero B.A., eds, Shiva, p. 190-202.
- CABANIS, B. et THIEBLEMONT, D., 1988. La discrimination des tholéites continentales et des basaltes arrière-arc. Proposition d'un nouveau diagramme, le triangle Th-3x Tb-2x Ta. *Bull. Soc. géol. France*, IV, p. 927-935.
- MACDOUGALL, J.D., ed., 1988. *Continental Flood Basalts*, Academic Publishers, Dordrecht, 341 p.
- FAUCHER, B. et SAVOYAT, E., 1973. Esquisse des Andes de l'Équateur. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 15, p. 115-142.
- GERMANIQUE, J.C., 1994. Major, trace and rare earth elements in fourteen GSJ reference samples. Determination by X-ray Fluorescence Spectrometry and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Geostandards Newslett.*, 18, 1, p. 91-100.
- JAILLARD, E., SOLER P., CARLIER, G. et MOURIER, T., 1990. Geodynamic evolution of the Northern and Central Andes during early to middle Mesozoic times ; a Tethyan model. *J. Geol. Soc. London*, 147, p. 1009-1022.
- JAMES, D.E., BROOKS, C. et CUYUMBA, A., 1975. Early evolution of the Central Andes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 42, p. 3325-3346.
- LETERRIER, J., MAURY, R., THONON P. GIRARD D. et MARCHAL, M., 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-series. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59, p. 193-154.
- MORIMOTO, N., FABRIES, J., FERGUSON, A.K., GINZBURG, I.V., ROS, M., SEIFERT, F.A., ZUSSMAN, J. et AOKI, K., 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Bull. Mineral.*, 111, p. 535-550.
- PAVIA, G., HIRTZ, A., LANDINI, W. et LOAYZA, S., 1992. The Lower Jurassic in the Santiago District (S.E. Ecuador). In : *Table ronde européenne : paléontologie et stratigraphie d'Amérique latine*, Lyon, 7-9 juillet 1992, France, Gayet M. et Rachebœuf P.R. coord. Comptes rendus consultables à l'Université Claude-Bernard, Lyon I.
- PEARCE, J.A., 1983. Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margin. In : *Continental basalts and mantle xenoliths*, Hawkesworth C.J. et Norry M.J., eds, Shiva, p. 230-249.
- ROMEUF, N., 1994. Volcanisme jurassique et métamorphisme en Équateur et au Pérou. Caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et géochimiques. Implications géodynamiques. Thèse, Univ. d'Aix-Marseille III, Travaux et Documents Microfichés n° 139, Éditions de l'ORSTOM, 350 p.
- ROMEUF, N., AGUIRRE, L., SOLER, P., FERAUD, G., JAILLARD, E. et RUFFET, G., 1995. Middle Jurassic volcanism in the Northern and Central Andes. *Rev. Geol. Chile*, 22, p. 245-259.
- TSCHOOP, H.J., 1953. Oil explorations in the Oriente of Ecuador, 1938-1951. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 37, p. 2303-2347.
- WOOD, D.A., GIBSON, I.L. et THOMPSON, R.N., 1976. Elemental mobility during zeolite facies metamorphism of the Tertiary basalts of eastern Iceland. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 55, p. 241-254.