

Géochimie des formations volcaniques pré-orogéniques d'âge crétacé et/ou eotertiaire de l'Équateur

Dans les Andes de l'Équateur, au nord de 3°S, la partie occidentale de l'orogène andin est constituée de terrains exotiques, essentiellement volcaniques, d'origine océanique, accrétés contre la bordure ouest du continent sud-américain. Sur le domaine continental, une unité volcanique dont la mise en place a été en partie concomitante de celle des terrains exotiques, affleure largement dans le sud du pays.

Les études géochimiques antérieures qui furent effectuées en Équateur (Goossens et Rose, 1973 ; Goossens *et al.*, 1977 ; Henderson, 1979) n'ont pas permis d'établir de manière définitive la nature exacte de ces formations car seuls furent analysés les éléments majeurs qui ne sont pas suffisamment discriminants.

Dans cet article, nous présentons l'étude de l'ensemble de ces formations, étude essentiellement basée sur l'analyse des éléments en traces et en particulier des terres rares qui permettent d'établir sans ambiguïté l'origine de ces différentes unités volcaniques.

I. ÉTUDE GÉOCHIMIQUE

Du point de vue géochimique, les formations volcaniques pré-orogéniques d'âge crétacé et/ou éotertiaire de l'Équateur se subdivisent en trois groupes :

- Le premier groupe est représenté d'une part par la formation Piñon d'âge crétacé inférieur (Bristow et Hoffstetter, 1977) qui constitue le substratum de la côte équatorienne (Feininger et Seguin, 1983) et d'autre part par des basaltes du même type qui apparaissent au sein d'écaïlles dans la partie

(*) ORSTOM, Paris.

(**) Centre Géologique et Géophysique, U.S.T.L., Montpellier.

Tableau 1 : analyse chimique des roches de la Formation Piñon.

N° Echn.	8251	8271	8252	FD431	MA511	8268	8267	8259	8203B	8258
SiO2	47.46	47.26	48.03	47.18	47.57	46.60	47.37	47.95	50.00	48.53
Al2O3	13.19	14.50	14.34	13.42	14.40	13.34	13.38	14.48	13.21	14.42
Fe2O3	9.18	9.59	10.83	8.91	10.93	12.38	12.20	11.83	11.77	11.91
MnO	0.21	0.16	0.19	0.19	0.19	0.18	0.17	0.19	0.21	0.16
MgO	10.94	10.00	9.89	7.80	8.80	8.80	7.95	7.30	7.60	5.87
CaO	13.14	14.86	12.85	9.11	8.98	10.13	11.09	11.81	8.34	11.61
Na2O	1.07	1.24	1.82	3.78	2.70	1.97	2.50	2.60	2.85	2.84
K2O	0.44	0.05	0.05	0.73	0.40	0.80	0.29	0.12	0.40	0.14
TiO2	0.76	0.72	1.15	1.13	1.65	1.33	1.35	1.41	1.60	1.58
P2O5	0.10	0.07	0.12	0.11	0.17	0.13	0.14	0.14	0.19	0.16
H2O+	0.66	0.38	0.55	1.68	0.46	1.25	0.88	0.64	0.45	0.53
H2O-	2.82	1.70	1.00	5.77	3.30	3.32	3.00	1.81	2.42	2.51
Somme	100.57	100.53	100.82	99.55	99.43	100.23	100.32	100.29	99.04	100.28
Li	11	5	4	10	6	12	7	6	6	5
Rb	5	3	2	3	4	7	5	7	5	2
Sr	73	93	101	101	93	87	97	127	97	396
Ba	80	20	30	280	30	180	190	70	40	940
Sc	51	50	47	45		47	49	46		42
V	260	238	298	308	337	332	356	334	361	360
Cr	500	353	321	213	274	228	226	132	210	20
Co	50	50	46	45	39	47	46	46	43	41
Ni	156	164	111	106	88	98	97	76		44
Cu	73	191	124	128	69	152	87	128	35	39
Zn	56	49	63	138	114	85	54	69	71	36
La	1.71	1.27	2.75	3.01		3.33	3.14	2.52		4.13
Ce	4.17	2.86	7.09	6.94		8.40	8.23	7.05		11.02
Sm	1.52	1.13	2.26	2.01		2.42	2.63	2.46		3.34
Eu	0.56	0.47	0.79	0.75		0.85	0.93	0.85		1.01
Tb	0.44	0.31	0.62	0.48		0.71	0.72	0.66		0.90
Yb	1.46	1.08	2.02	1.93		2.30	2.63	2.38		3.02
Lu	0.24	0.19	0.32	0.31		0.41	0.51	0.36		0.45
Hf	0.94	0.60	1.52	1.55		1.78	1.82	1.71		2.46
Th	0.10	0.09	0.12	0.18		0.21	0.18	0.13		0.36
Y	16	13	22	20	39					30
Zr	33	24	56	53	101					84
Nb	3	3	5	5	5					5
(Hf)	0.71	0.70	0.67	0.65	0.64	0.61	0.58	0.58	0.58	0.52
Ta/V	17.5	18.1	23.1	22.0	29.9	24.0	22.7	25.3	26.6	26.3
La/Yb	1.2	1.2	1.4	1.6		1.4	1.2	1.1		1.4
La/Sm	0.62	0.62	0.67			0.75	0.65	0.56		0.68
La/Th	17.1	14.1	22.9	16.7		15.1	16.5	18.0		12.5
La/Hf	1.8	2.1	1.8	1.9		1.9	1.7	1.5		1.7
La/Nb	0.6	0.4	0.6	0.6						0.8
Th/Hf	0.11	0.15	0.08	0.12		0.12	0.10	0.08		0.13

est de la Cordillère occidentale (Lebrat *et al.*, 1985) et doivent être rattachés à ce groupe.

- Le deuxième groupe représenté par la formation Macuchi qui affleure largement sur le flanc pacifique de la Cordillère occidentale et dont l'âge crétacé supérieur à éocène a pu être précisé par l'étude paléontologique des sédiments intercalés (Faucher et Savoyat, 1973 ; Henderson, 1979 ; Eguez, 1986).
- Le troisième groupe correspond à la Formation Celica d'âge aptien à campanien (Feininger et Bristow, 1980 ; Lebrat, 1985). A ce dernier groupe doivent être rattachés certains affleurements des environs de Cañar et de Huigra qui, sur la carte géologique au 1/100 000 (DGGM, 1982) sont attribués au Macuchi, mais présentent les mêmes caractéristiques chimiques que les roches du Celica.

A. Les roches du premier groupe

1) La formation Piñon

Les roches de la formation Piñon sont des basaltes dont les caractéristiques chimiques (Tableau 1) sont celles des séries tholéitiques. Il s'agit en particulier des enrichissements en fer, vanadium et titane (figure 1) au cours de la différenciation. De plus, les faibles valeurs de certains rapports entre éléments incompatibles comme La/Hf, Th/Hf et surtout La/Nb (<1) sont typiques des basaltes des rides médio-océaniques (Saunders *et al.* 1979) (MORB) ainsi que les valeurs du rapport Ti/U comprises entre 18 et 30 (Shervais, 1982).

Les spectres de terres rares normalisés aux chondrites (Nakamura, 1974) présentent une convexité et un appauvrissement en terres rares légères (fig. 2). De tels spectres sont typiques des MORB de type normal (N - type MORB) et l'on peut voir (figure 2) qu'ils sont très voisins de ceux de MORB N recueillis sur la plaque de Nazca au niveau de la ride fossile des Galapagos (Bartiza *et al.*, 1982).

Les roches de la formation Piñon sont des MORB de type N qui se sont donc formés au niveau d'une ride médio-océanique. En conséquence, la formation Piñon doit définitivement être considérée comme le témoin d'une ancienne croûte océanique.

2) Les écaillés de la partie Est de la Cordillère occidentale

D'autres basaltes qui forment des écaillés dans la Cordillère occidentale présentent des caractéristiques chimiques (Tableau 2) très voisines de celles de la formation Piñon. Comme les précédents, ils présentent des enrichissements en fer, vanadium et titane (figure 1) au cours de la différenciation.

Cependant, leurs spectres de terres rares (figure 3), tout en gardant l'allure typique des MORB, présentent un appauvrissement en terres rares légères moins

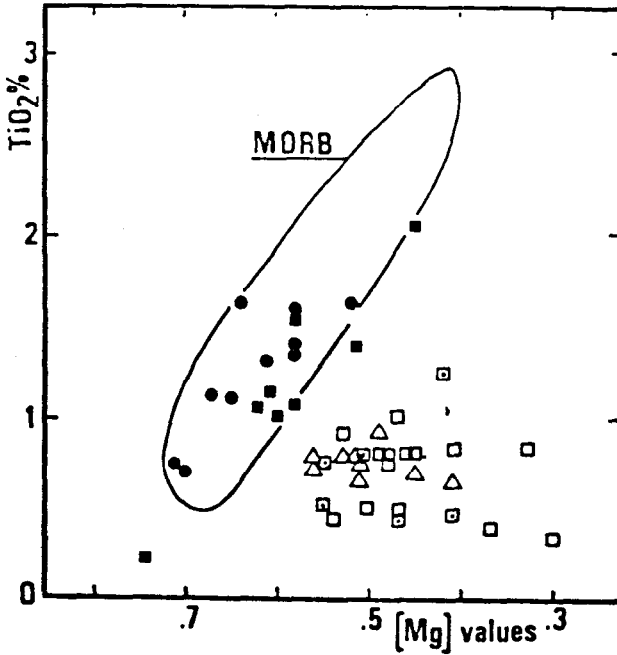


Figure 1 : diagramme TiO_2 (poids %) Vs (Mg) regroupant l'ensemble des formations volcaniques anté-orogéniques de l'Equateur.

- points : MORB N de la formation Piñon.
- carrés pleins : MORB T de l'est de la Cordillère Occidentale.
- carrés pointés et triangles : basaltes et andésites de la formation Celica.
- carrés : laves d'arc intra-océanique de la formation Macuchi.

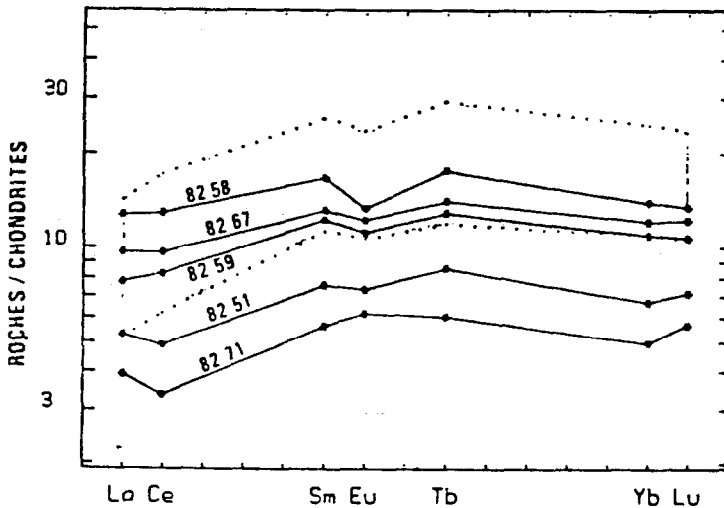


Figure 2 : spectres de terres rares normalisés aux chondrites (Nakamura, 1974) des basaltes de la formation Piñon comparés à ceux de MORB de la ride fossile des Galapagos (Batiza & al., 1982) représentés par le champ en grisé.

FORMATIONS VOLCANIQUES DE L'ÉQUATEUR

Tableau 2 : analyse chimique des basaltes qui apparaissent au sein des écaillés de la Cordillère Occidentale.

N° Ech.	82122	82119	82120	82126	82106	8293	8292	8250
SiO ₂	50.00	48.85	50.00	51.70	46.90	50.27	48.82	49.89
Al ₂ O ₃	14.40	13.86	13.55	13.34	13.21	13.30	12.75	12.30
Fe ₂ O ₃	8.38	11.16	10.85	10.60	12.54	12.05	13.15	13.25
MnO	0.11	0.15	0.16	0.13	0.20	0.19	0.20	0.16
MgO	11.30	8.50	7.87	7.13	8.07	7.84	6.45	5.25
CaO	8.16	9.97	9.74	9.15	10.57	9.48	8.71	5.45
Na ₂ O	2.21	1.71	2.79	3.50	3.00	2.21	2.48	3.31
K ₂ O	0.06	0.36	0.06	0.04	0.06	0.10	0.13	0.03
TiO ₂	0.22	1.06	1.15	1.03	1.56	1.08	1.26	2.06
P ₂ O ₅	0.07	0.08	0.08	0.08	0.13	0.11	0.12	0.18
H ₂ O+	0.40	0.47	0.29	0.30	0.02	0.41	0.70	0.41
H ₂ O-	4.39	3.34	2.72	2.52	3.57	2.20	4.23	7.71
Somme	99.70	99.51	99.26	99.57	99.83	99.24	99.00	100.02
Li	19	10	7	4	13	6	8	8
Rb	2	10	2	2	2	2	3	1
Sr	113	133	108	100	179	95	41	47
Ba	40	80	60	15	65	25	10	52
Sc	33	47		44	51	48	48	37
V	126	336	340	318	335	336	392	413
Cr	560	190	154	190	310	180	108	12
Co	45	44	44	40	52	45	45	30
Ni	240	104	95	80	106	83	71	26
Cu	37	142	145	139	148	156	187	139
Zn	59	94	87	95	88	87	102	130
La	1.68	3.18		2.56	3.35	2.75	3.51	6.18
Ce	3.38	7.80		6.39	9.72	6.62	8.67	16.96
Sm	0.50	2.24		1.94	2.88	2.08	2.58	4.65
Eu	0.24	0.77		0.63	0.87	0.74	0.89	1.57
Tb	0.17	0.58		0.49	0.69	0.55	0.71	1.21
Yb	0.70	2.38		2.11	2.49	2.33	2.87	4.46
Lu	0.11	0.41		0.34	0.43	0.38	0.48	0.71
Hf	0.70	1.47		1.35	2.15	1.50	1.85	2.68
Th	0.30	0.31		0.32	0.40	0.29	0.40	0.62
Y	8	22	25	21	28	23		49
Zr	32	54	57	47	75	52		99
Nb	3	4	6	5	6	5		8
(Mg)	0.74	0.62	0.61	0.60	0.58	0.58	0.51	0.45
Ti/V	10.5	18.9	20.3	19.4	27.9	19.3	19.3	29.9
La/Yb	2.4	1.3		1.2	1.3	1.2	1.2	1.4
La/Sm	1.84	0.78		0.72	0.64	0.73	0.75	0.73
La/Th	5.6	10.3		8.0	8.4	9.5	8.8	10.0
La/Hf	2.4	2.2		1.9	1.6	1.8	1.9	2.3
La/Nb	0.6	0.8		0.5	0.6	0.6		0.8
Th/Hf	0.43	0.21		0.24	0.19	0.19	0.22	0.23

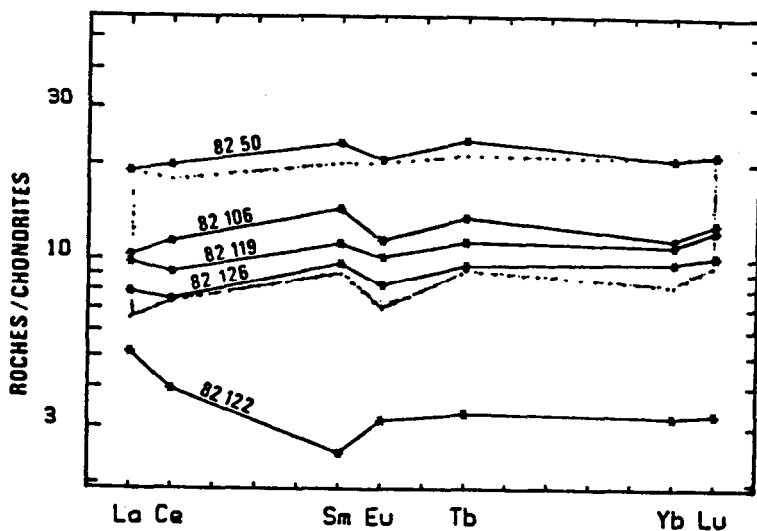


Figure 3 : spectres de terres rares normalisées aux chondrites des tholéiites du Macuchi comparés aux spectres des tholéiites de la Cordillère Occidentale de Colombie (figure gris) (Marriner & Millward, 1984; Millward et al., 1984).

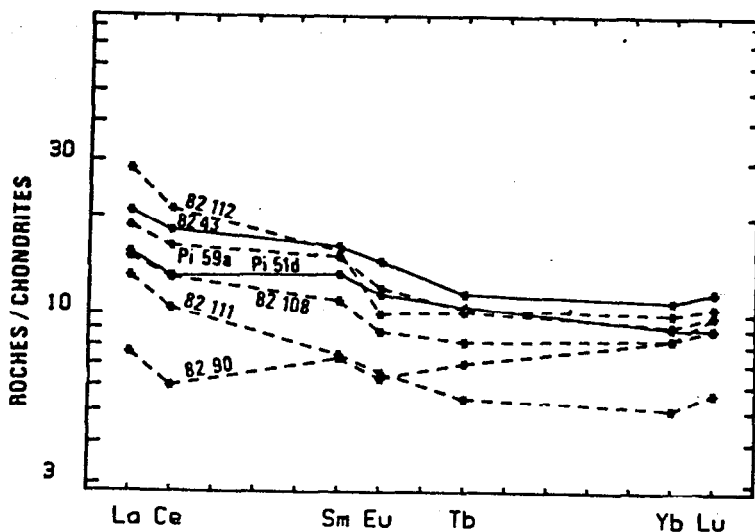


Figure 4 : spectres de terres rares normalisées aux chondrites des roches de l'arc insulaire de la formation Macuchi. Les spectres des basaltes sont en traits pleins, ceux des andésites en traits discontinus.

FORMATIONS VOLCANIQUES DE L'ÉQUATEUR

 Tableau 3 : analyse chimique des roches de la Formation Macuchi. *Basaltes*.

N° Ech.	8223	P161	P151d	8221	8243
SiO ₂	50.28	50.72	50.53	50.79	51.63
Al ₂ O ₃	14.90	15.10	16.00	18.45	14.63
Fe ₂ O ₃	8.78	10.57	10.64	10.02	12.62
MnO	0.15	0.17	0.17	0.16	0.24
MgO	4.71	4.68	4.45	4.19	5.17
CaO	11.90	6.96	7.90	7.05	4.65
Na ₂ O	0.90	4.86	4.64	3.79	5.55
K ₂ O	1.40	1.13	1.07	1.81	0.21
TiO ₂	0.93	0.88	0.82	0.76	1.02
P ₂ O ₅	0.13	0.18	0.17	0.13	0.32
H ₂ O ⁺	0.81	0.80	0.52	0.44	0.22
H ₂ O ⁻	5.11	4.11	3.57	2.57	3.45
Somme	100.00	100.16	100.48	100.23	99.71
Li	14	8	11	7	12
Rb	26	18	15	38	2
Sr	141	173	367	370	216
Ba	238	190	410	290	125
Sc	34	38	36	32	37
V	304	341	346	298	401
Cr	43	26	18	12	7
Co	31	31	32	28	36
Ni	26	21	19	14	16
Cu	78	132	140	136	92
Zn	63	112	95	75	104
La	4.38	5.12	5.03	4.25	6.79
Ce	10.37	12.11	11.15	9.87	15.40
Sm	2.24	2.91	2.65	2.17	3.23
Eu	0.86	0.93	0.87	0.76	1.10
Tb	0.36	0.56	0.54	0.46	0.59
Yb	1.52	2.25	1.96	1.72	2.38
Lu	0.26	0.36	0.30	0.29	0.39
Hf	1.23	1.82	1.48	1.25	1.90
Th	0.95	0.97	0.93	0.76	0.90
Y	19			18	25
Zr	51			46	72
Nb	3			2	3
(Hf)	0.53	0.49	0.48	0.48	0.47
Ti/V	18.3	15.5	14.2	15.3	15.3
La/Yb	2.9	2.3	2.6	2.5	2.9
La/Sm	1.07			1.07	1.15
La/Th	4.6	5.2	5.4	5.6	7.5
La/Hf	3.6	2.8	3.4	3.4	3.6
La/Nb	1.5			2.1	2.3
Th/Hf	0.77	0.53	0.63	0.61	0.47

marqué que pour les MORB N du Piñon. A cette discrète différence mise en évidence sur les spectres de terres rares, viennent s'ajouter d'autres indices qui montrent que ce groupe de basaltes ne peut pas être assimilé au Piñon. Parmi les plus importants, citons les teneurs en K_2O qui sont plus faibles et surtout les concentrations en Th qui sont nettement plus élevées ce qui se traduit par la diminution des rapports La/Th et par l'augmentation des rapports Th/Hf relativement aux valeurs obtenues pour le Piñon.

L'ensemble des caractéristiques chimiques de ces basaltes montre qu'ils sont très semblables à ceux de la formation Piñon. En fait leur type de spectre de terres rares, associé à des rapports La/Th faibles pour les MORB N, sont les caractères présentés par une certaine catégorie de MORB, les MORB de type transitionnel (T - type MORB) comme ceux de la Reyjanes Ridge dans l'Atlantique nord (Wood *et al.*, 1979).

B. Les roches du deuxième groupe

La formation Macuchi est constituée de basaltes et d'andésites qui, contrairement aux roches des groupes précédents, ne présentent pas d'enrichissements en fer, vanadium et titane (figure 1) au cours de la différenciation, ce qui est une des caractéristiques des roches formées en domaine orogénique (arcs volcaniques insulaires et continentaux). En fait, leurs caractéristiques chimiques comme leurs faibles teneurs en Nb et leurs enrichissements en Rb, Sr, Ba et Th associés à des valeurs élevées des rapports La/Hf ($x = 3,5$), La/Nb ($x = 1,9$) et Th/Hf ($x = 0,66$) sont typiques des séries volcaniques des arcs intra-océaniques. Il en va de même pour leurs spectres de terres rares (figure 4) qui présentent un enrichissement en terres rares légères, pouvant atteindre 30 fois les chondrites, et sont caractéristiques des arcs insulaires.

La formation Macuchi est donc constituée par des roches qui se sont formées au niveau d'un ou de plusieurs arcs volcaniques intra-océaniques. En fait, il est vraisemblable que la formation Macuchi (s.l.) correspond à deux arcs insulaires qui se sont successivement accolés au continent.

C. Les roches du troisième groupe

La formation Celica est constituée par des basaltes, des andésites et des dacites.

Les andésites qui représentent la majeure partie de la formation sont des andésites acides ($57\% < SiO_2 < 63\%$). Comme pour le Macuchi on n'observe pas pour ce groupe de roches d'enrichissement en fer vanadium ou titane (fig. 1) ce qui montre que l'on est en présence d'une deuxième série magmatique formée en domaine orogénique. De fait, ces roches présentent les caractéristiques chimiques des séries calco-alcalines des marges continentales actives, comme les concentrations élevées en alcalins et alcalino-teneux (en particulier Th) et les spectres de terres rares qui présentent, pour les andésites, des enrichissements en terres rares légères pouvant atteindre 75 fois les chondrites (figure 5a).

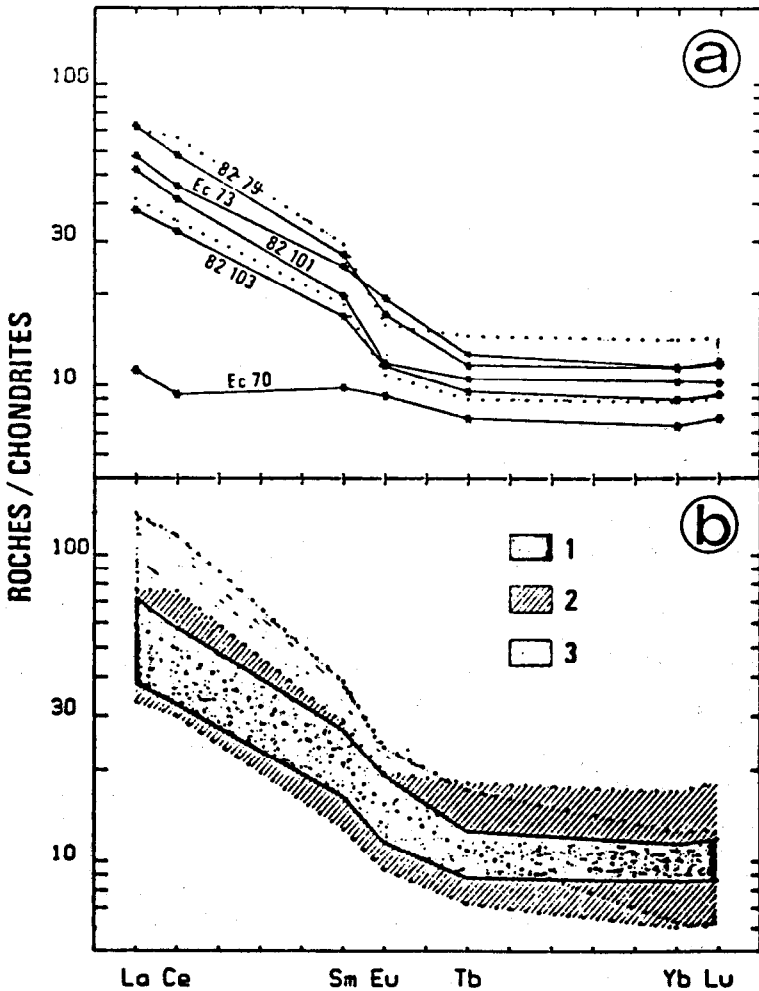


Figure 5 : a) Spectres de terres rares normalisés aux chondrites du basalte et des andésites de la formation Celica. Zone hachurée : champ des andésites du volcan Nevados de Chillan (Déruelle, 1979, 1982).

b) Champ des andésites de la formation Celica (1) comparé à ceux des andésites orogéniques continentales (2) et des andésites de type andin s.s. (3) (d'après Bailey, 1981).

L'ensemble de ces caractéristiques se traduit par les valeurs très élevées des rapports entre éléments incompatibles La/Nb ($x = 2.4$), La/Hf ($x = 4.6$) et Th/Hf ($x = 1.5$), valeurs bien supérieures à celles obtenues pour le volcanisme d'arc insulaire de la formation Macuchi.

De plus, leurs spectres de terres rares montrent que lors de la mise en place de ces andésites, la croûte continentale sous-jacente avait probablement une épaisseur voisine de 40 km. En effet, ces spectres sont similaires à ceux des andésites quaternaires du volcan Névados de Chillan (figure 5a) situé au Chili au-dessus d'une croûte continentale de 40 km d'épaisseur. De plus, ces andésites ne présentent pas les très forts enrichissements en terres rares légères (60 à 160 fois les chondrites) ni le fractionnement des terres rares lourdes qui caractérisent les andésites mises en place sur une croûte continentale de 60 à 70 km d'épaisseur (Bailey, 1981 ; figure 5b).

Les andésites de la formation Celica représentent donc les témoins d'un volcanisme d'arc continental calco-alcalin mis en place sur une croûte continentale dont l'épaisseur n'excédait probablement pas 40 km.

II. CONSÉQUENCES STRUCTURALES

L'étude géochimique des formations volcaniques pré-orogéniques d'âge crétacé et/ou éotertiaire de l'Equateur a permis de mettre en évidence la grande diversité des types magmatiques en présence. Cette étude a également permis de préciser l'extension de chacune des différentes unités volcaniques pré-orogéniques (figure 6).

Pour mieux comprendre la structure actuelle des Andes de l'Equateur on peut regrouper certaines de ces formations, ce qui nous permet de distinguer :

- 1) Un volcanisme pré-orogénique de nature calco-alcaline développé sur le substratum sialique de la bordure Ouest du continent sud-américain. Dans le cadre de la chaîne andine ce volcanisme, représenté par la formation Celica, peut être qualifié d'autochtone.
- 2) Un volcanisme pré-orogénique essentiellement tholéïitique formé exclusivement en domaine océanique. Il est représenté par les formations Piñon, Macuchi et par les écaïlles ophiolitiques de l'est de la Cordillère occidentale. Elles n'ont été impliquées dans l'orogène Andin que bien après avoir pris naissance et s'être développées dans le Pacifique à plusieurs centaines de kilomètres du continent, ce qui leur confère le qualificatif d'allochtones.

Cette distinction permet d'aborder l'un des problèmes majeurs de la géologie de l'Equateur, à savoir celui de la limite entre le domaine à substratum sialique et le domaine à substratum océanique. On peut considérer que l'extension du volcanisme autochtone (Celica) d'une part et celle du volcanisme allochtone (Piñon + Macuchi + écaïlles ophiolitiques) d'autre part, correspondent respectivement aux domaines à substratum continental et océanique. La frontière

FORMATIONS VOLCANIQUES DE L'ÉQUATEUR

 Tableau 3 bis : analyse chimique des roches de la Formation Macuchi.
 Andésites basiques.

N° Ech.	P159a	8249	82110	8290	82108	8289	8237	82114
SiO ₂	53.57	54.52	54.54	55.25	55.72	55.90	56.11	56.32
Al ₂ O ₃	16.89	19.34	16.56	14.38	16.89	14.62	17.05	14.08
Fe ₂ O ₃	9.52	7.56	7.69	10.78	7.76	9.53	6.97	10.02
MnO	0.16	0.15	0.14	0.18	0.15	0.14	0.10	0.09
MgO	3.50	2.87	3.81	4.57	3.18	3.46	2.75	2.23
CaO	5.35	8.41	6.05	7.43	7.30	8.08	3.35	4.93
Na ₂ O	6.00	3.25	3.14	2.48	3.10	3.07	5.20	5.13
K ₂ O	1.05	0.78	0.21	1.00	0.16	0.76	0.51	1.09
TiO ₂	0.82	0.82	0.67	0.43	0.52	0.54	0.83	0.87
P ₂ O ₅	0.18	0.23	0.10	0.10	0.13	0.12	0.19	0.30
H ₂ O ⁺	0.41	0.15	0.29	0.14	0.41	0.20	0.36	0.28
H ₂ O ⁻	2.97	0.72	5.96	2.39	4.05	3.12	5.78	4.15
Somme	100.42	99.09	99.16	99.13	99.37	99.04	99.20	99.49
Li	7	10	33	7	20	5	55	19
Rb	19	16	4	17	2	3	10	20
Sr	371	480	332	179	427	200	593	212
Ba	172	260	150	290	210	95	300	175
Sc	29	25	22	44	22	32	17	33
V	273	214	196	250	183	255	190	254
Cr	11	14	25	14	9	88	88	22
Co	26	22	27	35	21	27	22	16
Ni	16	14	20	22	9	34	42	6
Cu	98	140	56	100	59	46	62	65
Zn	81	70	84	85	73	77	82	81
La	6.07	6.70	4.49	2.47	4.87	3.83	7.75	9.71
Ce	13.75	14.51	9.02	5.11	11.02	8.78	16.87	19.90
Sm	3.00	3.00	1.77	1.46	2.20	1.94	2.33	4.02
Eu	0.91	0.99	0.62	0.48	0.67	0.70	0.74	1.13
Tb	0.53	0.56	0.37	0.36	0.42	0.44	0.35	0.73
Yb	2.17	2.03	1.40	1.81	1.82	1.90	0.81	2.88
Lu	0.35	0.34	0.24	0.33	0.30	0.32	0.13	0.47
Hf	1.89	2.03	1.32	0.87	1.37	1.23	1.79	3.11
Th	1.04	0.81	0.86	0.69	0.81	0.91	1.19	1.82
Y			15	17	19		12	
Zr			49	29	52		74	
Nb			2	2	3		4	
(Mg)	0.45	0.49	0.51	0.48	0.47	0.44	0.46	0.33
Ti/V	18.0	22.5	20.5	10.3	17.0	12.7	26.2	20.5
La/Yb	2.8	3.3	3.2	1.4	2.7	2.0	9.6	3.4
La/Sm			1.39	0.93	1.21	1.08	1.82	
La/Th	5.8	8.3	5.2	3.6	6.0	4.2	6.5	5.3
La/Hf	3.2	3.3	3.4	2.8	3.6	3.1	4.3	3.1
La/Nb			2.3	1.2	1.6		1.9	
Th/Hf	0.55	0.40	0.65	0.79	0.59	0.74	0.66	0.59

Tableau 3 ter : analyse chimique des roches de la Formation Macuchi.
Andésites acides.

N° Ech.	82111	82107	82115	82112	8245
SiO ₂	57.29	57.69	61.03	62.25	62.31
Al ₂ O ₃	16.13	16.16	17.02	14.41	16.61
Fe ₂ O ₃	6.47	6.20	5.18	6.65	8.77
MnO	0.13	0.11	0.08	0.12	0.10
MgO	3.02	3.36	1.90	3.09	2.42
CaO	5.20	4.19	5.00	4.72	1.43
Na ₂ O	3.65	3.82	4.45	2.90	2.16
K ₂ O	0.27	1.49	1.17	0.61	1.39
TiO ₂	0.53	0.46	0.55	0.65	0.85
P ₂ O ₅	0.10	0.12	0.23	0.15	0.17
H ₂ O ⁺	0.23	0.41	0.18	0.34	0.15
H ₂ O ⁻	6.29	6.01	2.43	3.87	3.13
Somme	99.31	100.02	99.22	99.76	99.49
Li	38	23	13	25	54
Rb	5	59	20	22	61
Sr	323	222	639	245	130
Ba	200	190	565	325	245
Sc	17			19	31
Y	172	145	103	163	227
Cr	13	43	13	48	153
Co	18	17	12	22	27
Ni	13	22	10	21	61
Cu	45	8	12	14	48
Zn	75	68	63	67	136
La	4.25			9.21	14.85
Ce	8.89			18.06	29.77
Sm	1.50			3.12	4.25
Eu	0.50			0.76	0.96
Tb	0.28			0.52	0.69
Yb	1.10			2.00	3.05
Lu	0.19			0.33	0.47
Hf	1.30			2.57	3.38
Th	0.96			2.38	4.32
Y	13	11			
Zr	49	44			
Nb	2	3			
(Mg)	0.50	0.54	0.45	0.50	0.41
Ti/V	18.5	19.0	32.0	23.9	22.5
La/Yb	3.9			4.6	4.9
La/Sm	1.55			1.62	
La/Th	4.4			3.9	3.4
La/Hf	3.3			3.6	4.4
La/Nb	2.1				
Th/Hf	0.74			0.93	1.28

Tableau 4 : analyse chimique des laves de la formation Celica.

N°Ech	Ec70	82102	Ec73	82103	Ec54	82101	Ec50	Ec55	Ec53	8279
SiO ₂	69.76	56.11	56.41	57.30	57.26	58.08	58.22	58.22	58.60	59.46
Al ₂ O ₃	17.88	14.77	16.90	15.70	15.83	16.10	16.02	16.73	15.53	15.48
Fe ₂ O ₃	2.00	6.62	7.10	6.70	6.90	5.33	6.80	6.70	6.75	6.79
MnO	0.18	0.14	0.13	0.11	0.13	0.10	0.11	0.12	0.10	0.06
HgO	5.04	2.26	2.03	4.12	3.68	2.03	3.25	2.93	3.36	3.00
CaO	10.39	6.73	4.08	3.90	4.65	5.64	6.90	5.45	4.35	5.53
Na ₂ O	3.45	1.14	6.24	2.16	3.42	4.12	2.92	3.27	3.20	2.35
K ₂ O	0.45	1.73	1.75	1.82	1.79	2.31	1.43	1.53	1.77	1.52
TiO ₂	0.75	0.66	0.82	0.61	0.80	0.70	0.79	0.88	0.81	0.94
P ₂ O ₅	0.10	0.16	0.29	0.17	0.15	0.16	0.16	0.16	0.14	0.31
H ₂ O+	0.24	0.72	0.70	0.65	0.81	0.74	0.20	0.42	0.58	0.23
H ₂ O-	2.07	8.32	2.66	6.39	4.07	5.03	2.24	2.79	4.19	3.49
Somme	99.01	99.36	99.11	99.13	99.49	100.34	99.04	99.19	99.38	99.16
La	15	15	11	25	16	14	23	11	19	25
Rb	15	61	37	48	61	71	42	43	56	36
Sr	265	215	566	271	345	274	321	320	321	356
Ba	200	350	850	400	725	740	490	610	750	780
Sc	35		17	25		18	21	22	23	21
Y	234	160	152	167	164	135	165	166	159	172
Cr	50	46	5	50	45	44	29	34	44	31
Co	31	20	15	19	19	16	19	16	21	16
Ni	27	15	9	16	17	15	16	14	17	13
Cu	106	28	48	33	22	26	20	64	20	26
Zn	81	79	82	89	81	65	78	86	83	96
La	3.65		18.79	12.39		16.92	13.85	13.83	14.01	23.51
Ce	7.97		39.20	27.71		35.52	29.62	29.02	29.92	49.70
Sm	1.96		4.98	3.38		3.96	3.39	3.28	3.56	5.44
Eu	0.70		1.47	0.88		0.90	0.91	1.02	0.90	1.30
Tb	0.40		0.65	0.49		0.54	0.45	0.52	0.50	0.60
Yb	1.60		2.50	1.94		2.23	1.86	2.14	2.02	2.47
Lu	0.26		0.40	0.31		0.34	0.29	0.34	0.32	0.39
Hf	1.10		2.46	3.00		4.37	3.17	3.52	3.51	4.47
Th	0.93		4.38	4.93		7.99	5.57	5.32	5.94	6.31
Y				21		24				
Zr				115		159				
Nb				6		7				
(Mg)	0.56	0.41	0.38	0.56	0.53	0.45	0.51	0.49	0.52	0.49
Ti/V	19.2	24.7	32.3	21.9	29.3	31.1	28.7	31.8	30.5	32.8
La/Yb	2.3		7.5	6.4		7.6	7.4	6.5	6.9	9.5
La/Sm	1.02		2.07	2.01		2.34	2.24	2.31	2.16	2.37
La/Th	3.9		4.3	2.5		2.1	2.5	2.6	2.4	3.7
La/Hf	3.3		7.6	4.1		3.9	4.4	3.9	4.0	5.3
La/Nb				2.1		2.4				
Th/Hf	0.85		1.78	1.64		1.83	1.76	1.51	1.69	1.41

entre ces deux domaines représente donc la suture entre le continent sud-américain et les terrains exotiques.

Cette suture qui n'a pas pu être observée directement, peut être localisée au sud de 2°S grâce à l'apport de la géochimie. En effet, la présence du volcanisme Celica sur le bord est de la Cordillère occidentale et de MORB T ou du volcanisme Macuchi (s.l.) légèrement à l'ouest permet de positionner la suture avec une bonne précision (figure 6). Il est important de noter que dans ce secteur (sud de 2°S) le tracé de la suture que l'étude géochimique nous conduit à proposer, est fondamentalement différent de celui du Doloies-Guayaquil Megashear (DGM, Case *et al.*, 1971) considéré antérieurement comme représentant la limite entre le continent et les terrains exotiques (figure 6).

III. CONCLUSION

L'analyse géochimique et principalement celle des éléments en traces, permet de résoudre une partie des problèmes liés à la méconnaissance des formations volcaniques pré-orogéniques crétacées et/ou éotertiaires de l'Equateur, méconnaissance due en grande partie aux mauvaises conditions d'affleurement des dites formations.

En effet, outre la caractérisation géochimique des différentes unités magmatiques, cette étude permet également de préciser leur extension relative. Enfin, les conséquences structurales qui découlent de nos résultats, quant à la position de la suture entre le domaine continental et le domaine océanique, sont d'une importance fondamentale pour la recherche minière en Equateur.

BIBLIOGRAPHIE

- BAILEY (J.C.), 1981. Géochimical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites. *Chem. Geol.*, 32, 139-154.
- BATIZA (R.), OESTRIKE (R.) ET FUTA (K.), 1982. Chemical and isotopic diversity in basalts dredged from the East Pacific Rise at 10°S, the fossil Galapagos Rise and the Nazca Plate. *Marine Geology*, 49, 115-132.
- BRISTOW (C.R.) ET HOFFSTETTER (R.), 1977. Lexique stratigraphique international (2ème Ed.) Vol. 5 : *Amérique latine* ; fasc. 5a. 2 : Ecuador. Paris : Centre National de la Recherche Scientifique, 410 p.
- CASE (J.E.), DURAN (S.L.G.), LOPEZ (R.) ET MOORE (W.R.), 1971. Tectonic investigations in western Colombia and eastern Panama. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 2685-2712.
- DERUELLE (B.), 1979. Pétrologie d'un volcanisme de marge active : Atacama et Andes méridionales. Thèse d'Etat, université Paris XI, 417 p., non publiée.
- Deruelle (B.), 1982. Petrology of the Plio-Quaternary volcanism of the south central and meridional Andes., *J. Volc. Geotherm. Res.* 14, 77-124

- DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS, 1982. Mapa geológico de la República del Ecuador, 1 : 1000 000. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos. Quito.
- EGUEZ (A.), 1986. Evolution Cenozoïque de la Cordillère Occidentale septentrionale d'Equateur (0°15'S à 1°10'S). Les minéralisations associées. Thèse 3ème cycle. Université P. et M. Curie, Paris, 116 p., non publiée.
- FAUCHER (B.) ET SAVOYAT (E.) 1973. Esquisse géologique des Andes de l'Equateur. *Rev. Geogr. Phys. Géol. Dyn.*, Série 2, 15, 115-142.
- FEININGER (T.) ET BRISTOW (C.R.), 1980. Cretaceous and paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geol. Rundsch.*, 69, 849-874.
- FEININGER (T.) ET SEGUIN (M.K.), 1983. Simple Bouguer gravity anomaly field and the inferred crustal structure of continental Ecuador. *Geology*, 11, 40-44.
- GOOSSENS (P.I.) ET ROSE (W.I.), 1973. Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the Basic Igneous Complex Ecuador. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84, 1043-1052.
- GOOSSENS (P.I.), ROSE (W.I.) ET FLORES (D.), 1977. Geochemistry of tholeiites of the Basic Igneous Complex of northwestern South America, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84, 1711-1720.
- HENDERSON (W.G.), 1979. Cretaceous to Eocene volcanic arc activity in the Andes of northern Ecuador, *J. Geol. Soc. London*, 136, 367-378.
- JUTEAU (T.), MEGARD (F.), RAHARISON (L.) ET WHITECHURCH (H.), 1977. Les assemblages ophiolitiques de l'Occident équatorien : nature pétrographique et position structurale. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 19, 1127-1132.
- LEBRAT (M.), 1985. Caractérisation géochimique du volcanisme anté-orogénique de l'Occident équatorien : implications géodynamiques. Doc. Trav. Centre Géol. Géophys., Montpellier, 6, 118 p.
- LEBRAT (M.), MEGARD (F.), JUTEAU (T.) ET CALLE (J.), 1985. Pre-orogenic volcanic assemblages and structure in the Western Cordillera of Ecuador between 1°40'S and 2°20'S. *Geol. Rundsch.*, 74, 343-351.
- LEBRAT (M.), DUPUY (C.), MEGARD (F.) ET DOSTAL (J.), 1986. Geochemistry of Cretaceous volcanic rocks of Ecuador. *Geol. Soc. Am. Bull.*, in press.
- MARRINER (G.F.) ET MILLWARD (D.), 1984. The Petrology and geochemistry of Cretaceous to Recent volcanism in Colombia : The magmatic history of an accretionary plate margin. I. *Geol. Soc. London*, 141, 473-486.
- MILLWARD (D.), MARRINER (G.F.) ET SAUNDERS (A.D.), 1984. Cretaceous tholeiitic volcanic rocks from the Western Cordillera of Colombia. I. *Geol. Soc. London*, 141, 847-860.
- NAKAMURA (N.), 1974. Determination of REE, Ba, FE, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38, 757-775.
- SAUNDERS (A.D.), TARNEY (I.), MARSH (N.G.) ET WOOD (D.A.), 1979. Ophiolites as ocean crust or marginal basin crust : A geochemical approach. Proc. Int. Symp. on Ophiolites, *Geol. Surv. Dep.*, Nicosia, Cyprus, 193-204.
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA, 1969. Mapa Geológico de la República del Ecuador, 1 : 1 000 000. Ministerio de Industrias y Comercio, Quito.

- SHERVAIS (J.W.), 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth Planet. Sci. Lett.* 59, 101-118.
- WOOD (D.A.), TARNEY (J.), VARET (J.), SAUNDERS (A.D.), BOUGAULT (H.), JORON (J.L.), TREUIL (M.) ET CANN (J.R.), 1979. Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by Ipod Leg. 49 : Implications for mantle heterogeneity. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 42, 77-97.