Géologie Alpine, t. 52, 1976, p. 85-98

Etude géochimique du volcanisme tertiaire de la région de Mianeh (Azerbaïjan, Iran)

par Jean-Luc LESCUYER, Robert MICHEL,
Robert RIOU et Gérard VIVIER *

ABSTRACT. — The region of Mianeh, located in Azerbaijan (NW Iran) belongs to the large volcanic band which stretches across the whole country. Four volcanic events of Tertiary age are recognized.

Alkaline lavas and rhyolites, 3 000 m thick, are formed during an extensive volcanic period of Eocene age. This cycle ends with trachytes and analcite-bearing trachyandesites.

At the Oligocene, fluidal rhyolites rise up, and granophyres are emplaced along large fractures.

The extensive volcanic range of lower Miocene age is characterized by alternating « acidic » (dacites, rhyodacites) and « basic » (andesites, basalts) lavas.

Pliocene volcanism is spottily represented by a few alkaline basalts.

Quantitative X-ray fluorescence analysis of 170 samples for Ba, Sr, Rb, Ca, K, Fe and Ti allowed the several volcanic events to be geochemically characterized.

At the Eocene, four independant, successive alkaline trends have been recognized : latite-basalts → latites → latite-andesites and latites → trachyandesites. The interbedded rhyolites and trachytes behave otherwise from a geochemical point of view. Distribution of Rb and of Ba shows that these trends cannot derive from one another through fractional crystallisation. Although the more silica-rich members of the suite probably mirror crustal contamination, the overall alkaline character is regarded as evidence of a deep-seated origin of the parent magmas (probably in the upper mantle). The latter would thus be evidence of the rythmic opening of one of the large rifts which cross the whole of Iran at Palaeogene times, and whose evolution aborts at the end of the Eocene.

Oligocene rhyolites and granophyres fit in the K/Ba-Ba and K/Rb-Rb diagrams, on the melting curve of a gneiss at 700° C, for 40-50 % of molten material. The anatectic origin of the acidic volcanism, connected with an important thermal dome appearing as early as the Upper Eocene, is confirmed by the volumes involved, and by the behaviour of the trace-elements.

At the lower Miocene, outpouring of alkaline basalts is followed by emission of andesite alternating with rhyodacites. As shown by the trace-elements (Ba, Rb), this volcanism, in which « acidic » and « intermediate » members predominate, cannot be explained through fractional crystallisation from basalts. With the assistance of the K/Ba-Ba diagram, we therefore envision a bimagmatic model, with mutual contamination of the opposite members : thus, the rhyolitic magma results in dacites and in rhyodacites, while the alkaline basaltic magma is partly replaced by an extensive andesitic stock. However, displacement of the focii of volcanic activity prevents homogeneization and appearance of a single « mixing magma ».

A new cycle makes a faint appearance *at the Pliocene,* with outpouring of alkaline basalts.

The overall volcanic intensity diminishes from the Eocene to the Pliocene. The whole is evidence of alkaline magmatic events, probably originating in the upper mantle, and preceded or accompanied by thermal domes which sometimes cause partial melting of the crust.

* Laboratoire associé au C.N.R.S. n° 156, Institut Dolomieu, rue Maurice-Gignoux, 38031 Grenoble, France.

RÉSUMÉ. — Des dosages par fluorescence X des éléments incompatibles sur 170 échantillons ont permis de caractériser géochimiquement les quatre épisodes volcaniques tertiaires reconnus dans la région de Mianeh. *A l'Eocène,* un volcanisme intense à caractère alcalin potassique prédominant accompagne l'ouverture d'un rift intracontinental de grande extension. *A l'Oligocène,* la mise en place locale de rhyolites et de granophyres d'origine anatectique précède la montée de basaltes alcalins. *Au Miocène inférieur,* la contamination réciproque de ces deux magmas est envisagée pour expliquer l'émission simultanée d'andésites et de rhyodacites. *Au Pliocène,* un nouveau cycle s'esquisse avec l'émission de basaltes alcalins.

L'intensité générale des phénomènes volcaniques diminue de l'Eocène au Pliocène. L'ensemble est l'expression d'épisodes magmatiques alcalins, sans doute issus du manteau supérieur, précédés ou accompagnés de dômes thermiques qui provoquent parfois une fusion partielle de la croûte.

La région étudiée [1] couvre une superficie de 5 700 km² en Azerbaïjan, au NW de l'Iran. Elle est située à 150 km au SE de Tabriz et traversée en diagonale par la route de Téhéran (fig. 1).

Cette zone appartient à la grande bande volcanique occidentale d'âge tertiaire qui traverse tout l'Iran et se prolonge dans le Petit Caucase et

[1] Grâce à l'aide du Service Géologique de l'Iran et de l'Ambassade de France en Iran, que nous remercions vivement ici.

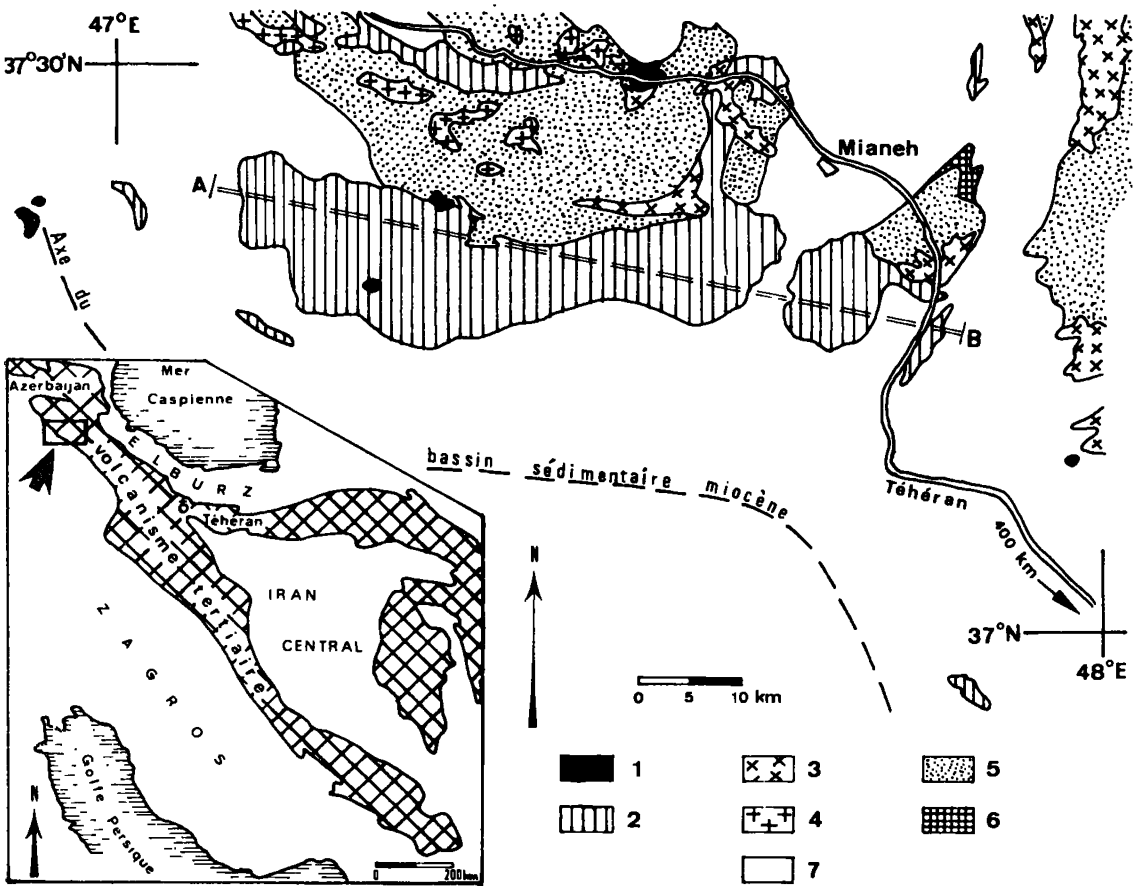


Fig. 1. — Esquisse géologique de la région de Mianeh.
1, Basaltes pliocènes ; 2, Volcanisme aquitanien burdigalien ; 3, Rhyolites oligocènes ; 4, Granophyres oligocènes ; 5, Volcanisme éocène ; 6, Socle dévono-triasique ; 7, Sédimentaire oligocène supérieur à quaternaire ; A-B, Emplacement de la coupe (fig. 9).

l'Anatolie. Limitée au SW par une plate-forme de type « Iran Central » (STOECKLIN, 1968), la région de Mianeh se situe à la charnière des directions structurales NW-SE de l'Elbourz et E-W de l'Azerbaïjan. De grands accidents de direction N 20 E guident à cet endroit un volcanisme oligo-miocène important.

1. Les différentes périodes volcaniques.

Près de la moitié du terrain étudié est constituée de volcanites tertiaires. Nous y avons distingué quatre périodes éruptives. Comme partout en Iran, la plus importante se situe à l'Eocène moyen et supérieur.

EOCÈNE.

La séquence, entièrement volcanique, est composée d'une alternance monotone de coulées et de tufs sur près de 3 000 m d'épaisseur. Le dynamisme, principalement subaérien, contraste avec les grandes masses de tuffites sous-marines observées vers Téhéran (DEDUAL, 1967).

Dans la région de Mianeh trois phases successives ont été mises en évidence par deux d'entre nous (J.-L. L. et R. R.).

1° *Les latites et les rhyolites inférieures (1 000-1 500 m).*

Les latites, en coulées épaisses, sont caractérisées par l'abondance de labradors centimétriques associés à des augites et à de rares olivines dans un fond très riche en sanidine finement cristallisée.

Ces latites alternent avec des coulées et des ignimbrites de composition rhyolitique, roches souvent aphyriques et sans quartz primaire.

Cet ensemble, qui présente parfois à sa base des intercalations de calcaires à nummulites, est plus ou moins affecté par un métamorphisme thermique.

2° *Les latite-andésites moyennes (500 - 1 500 m).*

Les latite-andésites, à structure porphyrique ou doléritique, contiennent de nombreux labradors, augites et olivines dans un fond interstitiel peu abondant de feldspath potassique et de quartz. Des dacites à biotite se rencontrent localement.

Ces émissions alternent avec de fortes épaisseurs de tufs d'explosion bien stratifiés.

3° *Les trachytes et les trachyandésites supérieurs (200 - 400 m).*

La fin du volcanisme éocène est caractérisée par l'émission de laves très potassiques.

Des dômes-coulées de trachytes riches en sanidine précèdent des coulées de trachyandésites porphyriques. Des trachyandésites analcimiques achèvent le cycle ; ces roches contiennent quelques labradors, augites et olivines dans un fond finement cristallisé de sanidine où se développent des cristaux automorphes, parfois centimétriques, d'analcime.

Nous avons complété cette éude par des analyses d'échantillons provenant du Nord de l'Azerbaïjan (DIDON et GEMAIN, 1976). Des latite-basaltes riches en olivine apparaissent ici sous les latites porphyriques de l'ensemble inférieur tandis que l'ensemble moyen est surtout représenté par des latites.

OLIGOCÈNE.

La phase tectonique de l'Oligocène inférieur (STOECKLIN, 1968), particulièrement importante dans la région de Mianeh, disloque le socle éocène et permet l'extrusion de grandes masses de rhyolites fluidales.

Cet épisode acide comporte, vers l'Ouest de la zone étudiée, des faciès plus porphyriques, voire grenus. Dans ces granophyres et granites subvolcaniques, des plages de quartz, albite et feldspath potassique engrenés cimentent des phénocristaux d'amphibole, biotite, plagioclase, sanidine et quartz.

AQUITANIEN-BURDIGALIEN.

A cette époque, une grande chaîne volcanique de 65 km de long se localise à la bordure nord d'un bassin subsident (fig. 1 et 9).

Des basaltes alcalins à olivine et analcime, interstratifiés dans les calcaires de la Formation de Qom (Oligocène sup.-Miocène inf.), marquent le début de l'activité volcanique miocène. Ils présentent fréquemment un dynamisme subaquatique (hyaloclastites).

Des andésites et des latite-andésites porphyriques à nombreux pyroxènes et quelques olivines, alternant avec des dacites et des rhyodacites à biotite, amphibole et plagioclase zoné, surmontent

ces basaltes. Les produits émis par les grands volcans andésitiques constituent la majeure partie du volcanisme miocène inférieur. Les émissions acides associées se mettent en place sous forme de dômes-coulées et de nappes de ponces.

Des trachyandésites à dynamisme très explosif (brèches péléennes) terminent localement cette évolution. Leur constitution minéralogique est intermédiaire entre celle des andésites et celle des rhyodacites (présence d'amphibole).

PLIOCÈNE.

Un niveau de tufs acides précède parfois les dépôts détritiques du Pliocène. Intercalées dans cette série, quelques coulées de basalte alcalin à olivine correspondent aux dernières manifestations visibles de l'activité volcanique dans la région de Mianeh. A l'Est, un petit massif de gabbro à labrador et pyroxène est associé aux basaltes.

Le volcanisme quaternaire d'Azerbaïjan (Sabalan, Sahand) n'est pas représenté dans la région étudiée.

2. Etude géochimique.

Toutes les laves basiques ($SiO_2 < 55$ %) du volcanisme tertiaire étudié présentent un caractère alcalin constant. Le diagramme de Kuno (1960) illustre bien cette tendance (fig. 2).

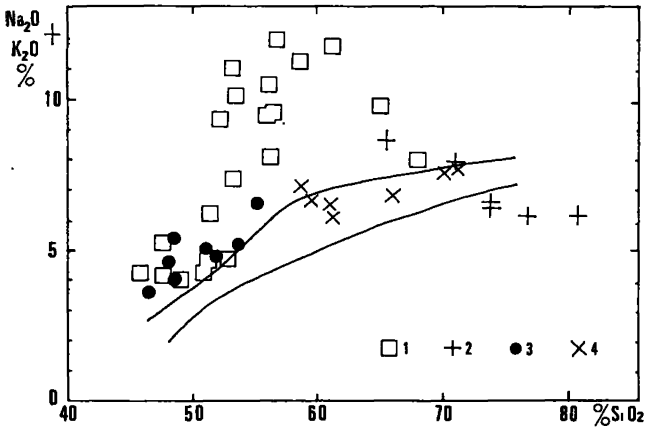


Fig. 2. — Les volcanites tertiaires de la région de Mianeh dans le diagramme de Kuno (1960).

1, Laves éocènes ; 2, Rhyolites et granophyres oligocènes ; 3, Basaltes et andésites néogènes ; 4, Dacites et rhyodacites miocènes.

MÉTHODES UTILISÉES POUR LES ANALYSES PARTIELLES.

170 échantillons ont fait l'objet de dosages par fluorescence X sur sept éléments majeurs et traces : K, Ca, Fe, Ti, Ba, Sr et Rb.

L'effet de matrice inhérent à la méthode a été minimisé par l'adoption de courbes d'étalonnage différentes en fonction de la nature de l'échantillon. Les étalons utilisés sont des roches totales analysées par plusieurs laboratoires et des « standards » de l'U. S. geological Survey.

Les valeurs obtenues, les moyennes, les rapports et les intervalles de confiance ainsi que les histogrammes de fréquence sont consignés dans les tableaux I et II.

DIAGRAMMES PRÉSENTÉS.

Les quatre périodes volcaniques éocène, oligocène, miocène et pliocène sont examinées séparément. Les résultats des analyses sont commentés à partir des diagrammes Rb-Sr (en coordonnées logarithmiques) et sur les diagrammes majeurs/traces en fonction des traces (en coordonnées arithmétiques).

1° *Période éocène.*

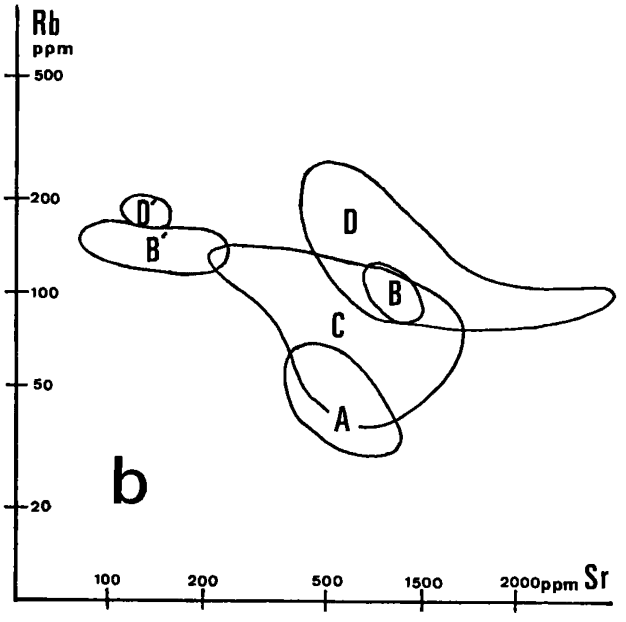
Sur les diagrammes 3 *a* et 4 *a*, seuls les critères chimiques et pétrographiques sont pris en compte. Les diagrammes 3 *b* et 4 *b* reflètent la succession stratigraphique observée. Dans ce cas, une enveloppe représentant un même épisode volcanique regroupe souvent des laves de composition différente.

Rb-Sr (fig. 3 *a* et 3 *b*) :

La majorité des points se regroupe sur la droite Rb/Sr = 0,1 avec enrichissement en Rb et en Sr vers les termes les plus alcalins (fig. 3 *a*). La zonation : A, C, B, D, reflète la teneur croissante en feldspath potassique de ces roches (fig. 3 *b*). Les latites de l'ensemble inférieur (B) restent bien groupées malgré leur caractère très porphyrique, le métamorphisme qui les affecte parfois, et leur dispersion géographique.

Les points représentatifs des rhyolites de l'ensemble inférieur (B′) et des trachytes à tendance rhyolitique de l'ensemble supérieur (D′) s'éloignent de la valeur moyenne : leurs faibles teneurs en Sr

sont liées à la rareté du plagioclase dans ces roches acides.



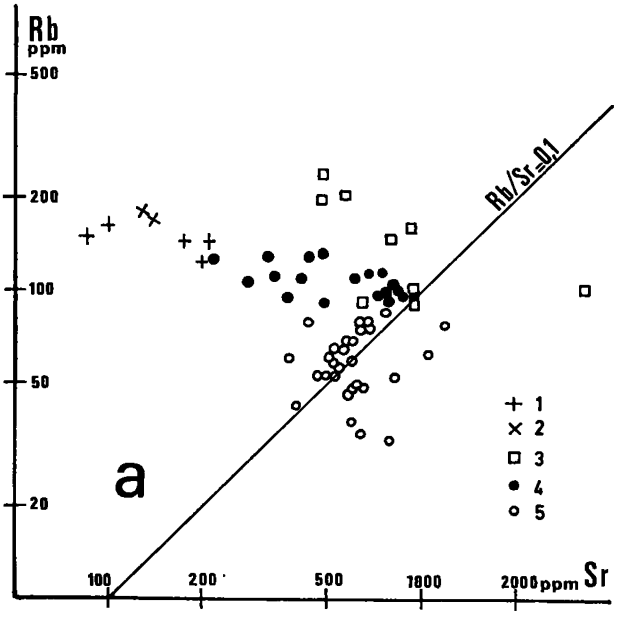


Fig. 3. — Diagramme Rb Sr pour la période éocène.

3a : 1, Rhyolites ; 2, Trachytes ; 3, Trachyandésites ; 4, Latites et dacites ; 5, Latite-andésites et latite-basaltes.

3b : Représentation chronologique des différents épisodes du volcanisme éocène (de A à D, du plus ancien au plus récent).

K/Rb-Rb (fig. 4 *a* et 4 *b*) :

Ce diagramme permet de mieux discriminer les différents ensembles déjà individualisés dans la figure 3 : leurs points représentatifs, à l'exception de ceux des roches acides (B′ et D′), présentent une disposition en enveloppes parallèles (fig. 4 *b*).

Les points représentatifs des latite-basaltes (A) dessinent une courbe qui permet de les considérer comme le résultat d'une cristallisation fractionnée à partir d'un basalte alcalin. Toutefois, aucun pôle basaltique franc n'a été rencontré jusqu'ici dans la séquence volcanique éocène de l'Iran.

Les latites porphyriques (B), immédiatement postérieures, sont toujours bien groupées et montrent une tendance plus alcaline. Ces laves, de composition très homogène et de grande extension dans tout l'Azerbaïjan, possèdent tous les caractères de shoshonites.

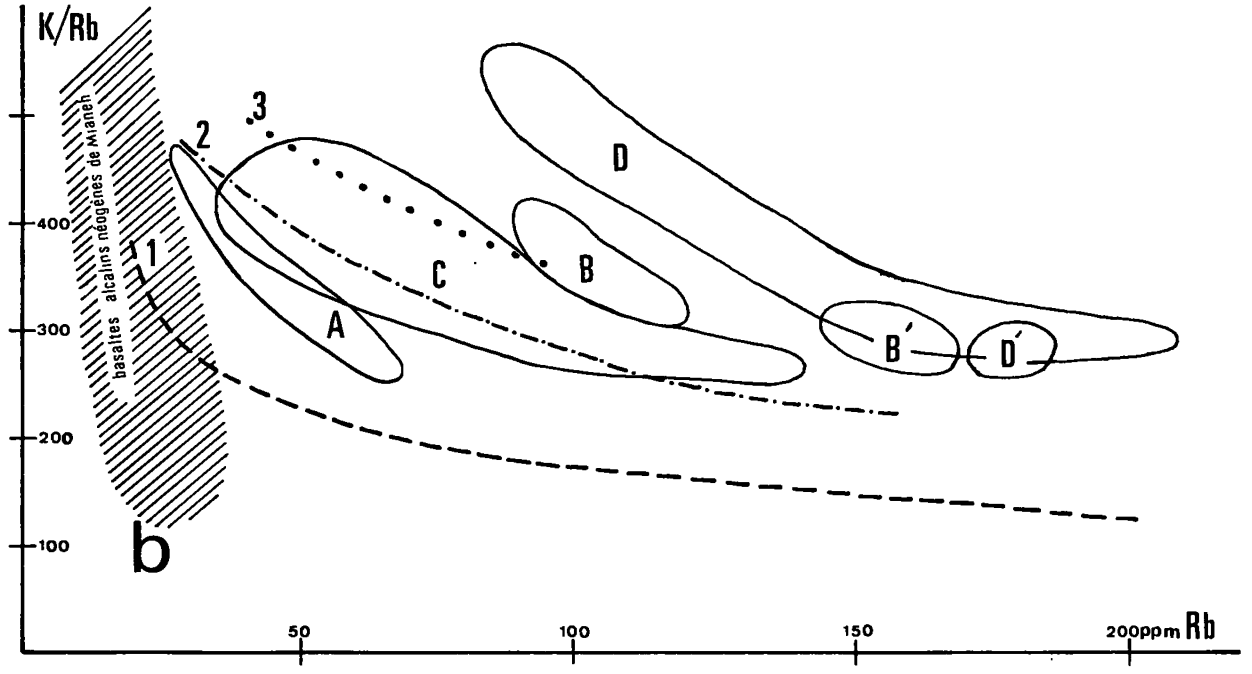
Le groupe des roches volcaniques de l'ensemble moyen (C) présente deux tendances qui n'ont pas été distinguées graphiquement. La première, de caractère shoshonitique, correspond à un processus de cristallisation fractionnée avec séparation du pyroxène et enrichissement en feldspath potassique depuis les latite-andésites jusqu'aux latites (Nord de l'Azerbaïjan). La seconde tendance, plus riche en silice, coïncide avec la courbe 2 (fig. 4 *b*) dessinée par l'association calco-alcaline décrite dans les Andes par Dupuy et Lefèvre (1974) ; elle explique le passage des latite-andésites aux dacites (Sud de l'Azerbaïjan).

Les trachyandésites de l'ensemble supérieur (D) sont encore plus riches en éléments incompatibles que les latites (tableau I) ou que les shoshonites des Andes (courbe 3, fig. 4 *b*). Les teneurs très élevées en rubidium de certaines trachyandésites s'expliquent par la cristallisation fractionnée du plagioclase.

Conclusion :

Le volcanisme éocène de l'Azerbaïjan est principalement caractérisé par quatre épisodes alcalins successifs : latite-basaltes → latites → latite-andésites et latites → trachyandésites.

L'allure des courbes de différenciation (courbe 1, fig 4 *b*) ne permettant pas de les faire dériver les uns des autres par cristallisation fractionnée, ces différents termes doivent être l'expression de processus magmatiques indépendants bien qu'ana-



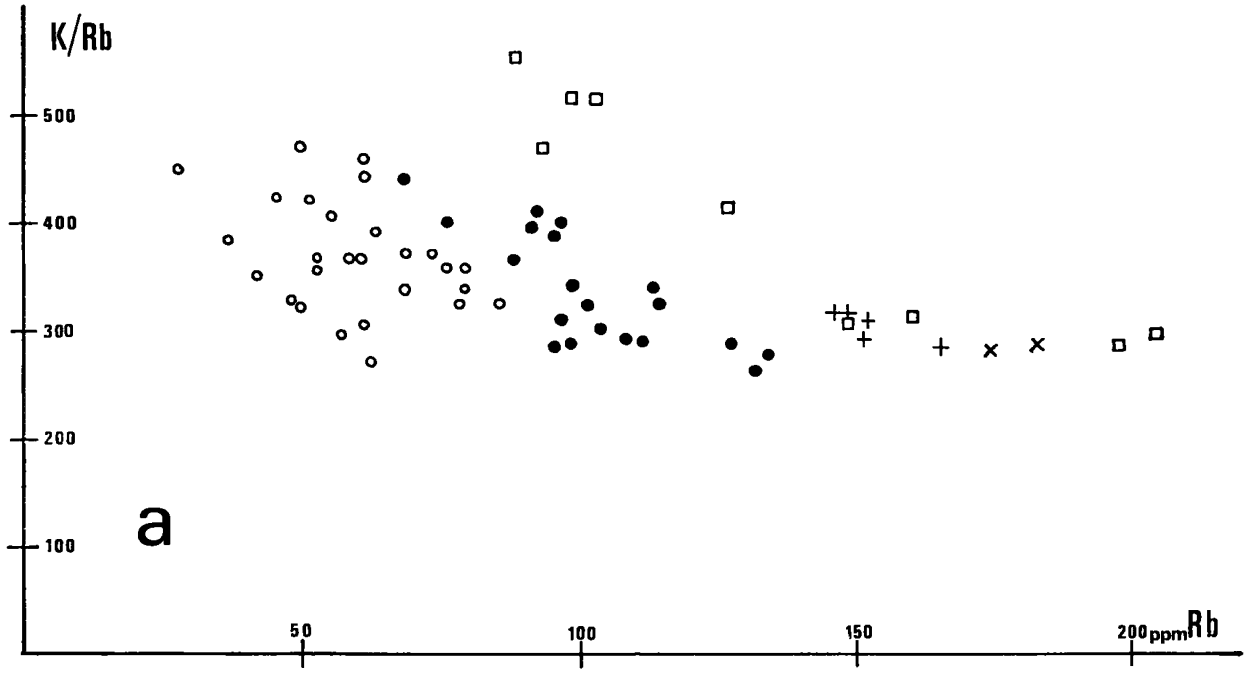


Fig. 4. — Diagramme K/Rb en fonction de Rb pour la période éocène.

4a : Même légende que pour la figure 3a. — *4b :* Même représentation que dans la figure 3b.

1, Courbe de différenciation des Petites Antilles (*in* Dupuy, 1970) ; 2 et 3, Associations calco-alcaline et shoshonitique du Pérou (Dupuy et Lefèvre, 1974).

TABLEAU I

Récapitulation des valeurs extrêmes obtenues et des moyennes ( ) pour les différents épisodes volcaniques tertiaires. Eléments-traces en p.p.m., éléments majeurs en pourcentages.

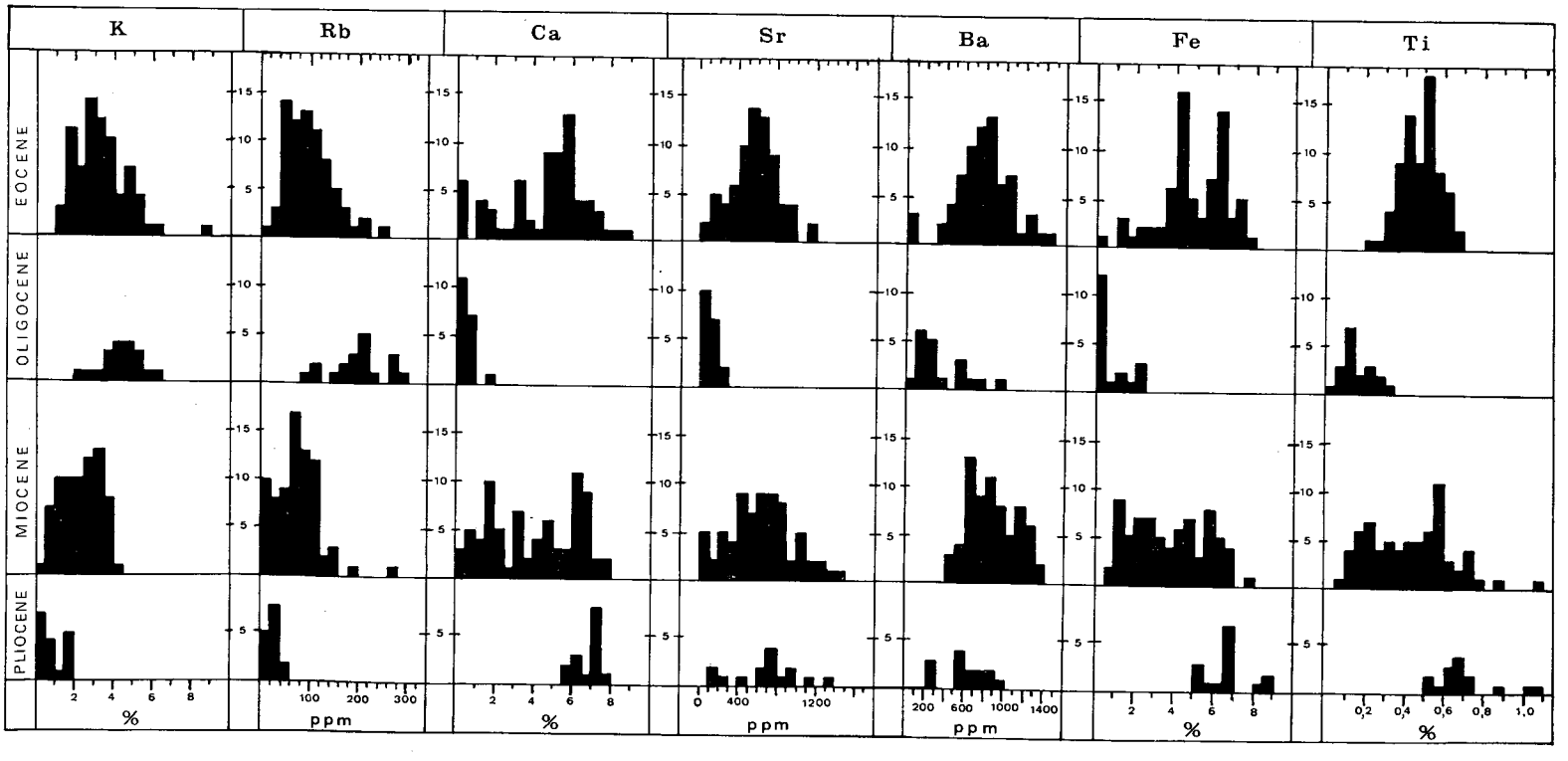
Les intervalles de confiance sont les suivants : Ba ± 20 %; Sr, Ca, Rb, Fe ± 10 % ; K, Ti ± 5 %.

Analyses complètes *in* LESCUYER et RIOU (1976), DIDON et GEMAIN (1976).

	EOCENE				OLIGOCENE		MIOCENE INFERIEUR				PLIOCENE	
	Latite - andésites	Latites et dacites	Trachy-andésites	Rhyolites et trachytes	Granophyres	Rhyolites	Basaltes	Andésites et latite -andés.	Trachy-andésites	Rhyodacites et dacites	Basaltes	Gabbros
Ba	300 - 1400	550 - 1100	800 - 1450	700 - 1100 (800)	200 - 900	60 - 650	450 - 1300	600 - 1700	500 - 1100	500 - 1600	600 - 5500 (700)	250
Sr	350 - 1000 (600)	200 - 1200	500 - 3000	80 - 500 (200)	85 - 240	10 - 300	600 - 1400	600 - 1050	550 - 1050	50 - 650 (400)	420 - 960	180 - 240
Rb	30 - 90	70 - 140	90 - 240	120 - 185 (150)	170 - 270	110 - 300	6 - 30	20 - 80	60 - 150	60 - 200 (80)	10 - 45 (25)	15
K	1,2 - 2,9	2,8 - 3,9	4,4 - 9	3 - 5,4 (4,8)	3,8 - 5	2,4 - 6	0,4 - 1	1 - 2,2	1,5 - 3,2	2,4 - 4,2	0,4 - 2	0,2
Ca	4,5 - 8,8 (6)	3 - 6,5	2,6 - 4,2	0,3 - 1,8	0 - 1,6 (0,8)	0 - 1	6,4 - 7,2 (7)	4 - 8 (6)	3 - 5	0 - 4,8	6,8 - 8	6 - 7
Fe	4,4 - 7,6 (6)	3,6 - 6,2	3,5 - 4,6	1,1 - 2,7	0,1 - 2,3 (2)	0 - 1 (0,1)	5,4 - 7,8	4,5 - 6,2	3,2 - 5	0 - 3,6	5,4 - 8 (6,5)	6,8 - 8,6
Ti	0,3 - 0,8 (0,55)	0,3 - 0,6	0,4 - 0,6	0,2 - 0,48 (0,35)	0,1 - 0,32 (0,25)	0,05 - 0,25 (0,1)	0,6 - 1,4	0,45 - 0,70	0,3 - 0,55	0,1 - 0,53	0,52 - 0,76 (0,66)	1
Rb/Sr	0,04 - 0,20 (0,1)	0,06 - 0,6	0,025 - 0,50	0,3 - 2	0,8 - 2,5	0,8 - 30	0,005 - 0,05	0,03 - 0,1 (0,08)	0,07 - 0,2 (0,1)	0,15 - 3	0,01 - 0,06 (0,04)	0,08
K/Rb	275 - 475 (370)	220 - 450	300 - 560	230 - 320 (280)	190 - 250	160 - 320	100 - 1450	220 - 560	100 - 400 (350)	100 - 550 (350)	230 - 800 (500)	150
K/Ba	15 - 50	33 - 60	35 - 70	32 - 62	40 - 220	50 - 500	4 - 13 (10)	10 - 23 (18)	14 - 46	20 - 70	5 - 25	10
Ca/Sr	40 - 190	50 - 160	15 - 55	30 - 140	20 - 100	0 - 80	60 - 120	40 - 100	30 - 70	10 - 300 (50)	50 - 170	250 - 350
SiO_2	(52)	(55)	(55)	(67)	(70)	(75)	(48)	(53)	(59)	(66)	(48)	

TABLEAU II

Histogrammes de fréquence des éléments dosés dans les roches représentatives des quatre épisodes volcaniques tertiaires.



logues. Les magmas alcalins originels, probablement dus à une fusion partielle du manteau supérieur, se distinguent les uns des autres par un enrichissement plus ou moins poussé en potassium et autres éléments incompatibles, selon l'un des modèles suggérés par HARRIS (1974).

Par ailleurs, dans la zone volcanique très active du Sud de l'Azerbaïjan (région de Mianeh), une fusion partielle de la croûte pourrait être à l'origine des termes les plus acides (B′ et D′) associés aux laves alcalines. Ce processus a déjà été envisagé par AMIDI (1975) pour le volcanisme éocène d'Iran central.

2° *Période oligocène.*

Rb-Sr (fig. 5) :

Les granites et les granophyres forment un groupe relativement homogène centré sur Rb/Sr = 1. Les rhyolites présentent une diminution de leurs teneurs en Sr liée à la disparition du plagioclase. Pour les faciès les plus fluidaux, les teneurs en strontium peuvent être inférieures au seuil de fiabilité de l'appareil (10 ppm) et le rubidium est très fluctant.

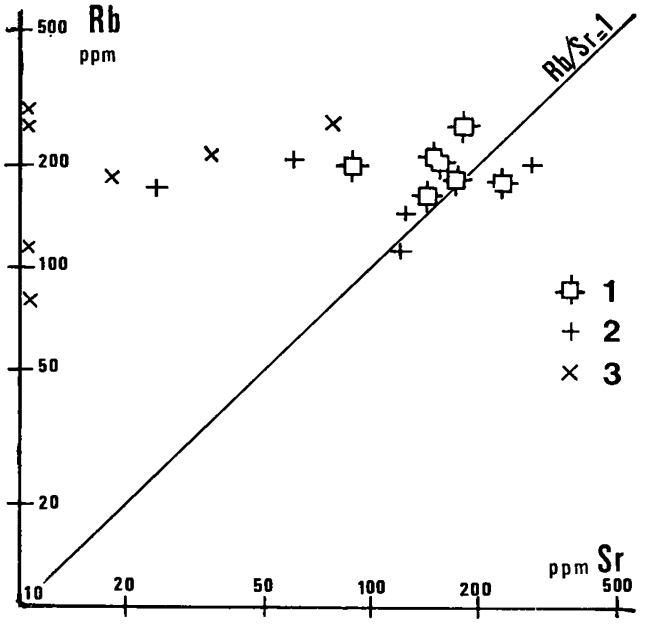


Fig. 5. — Diagramme Rb-Sr pour la période oligocène.
1, Granites et granophyres ; 2, Rhyolites porphyriques ; 3, Rhyolites fluidales.

K/Ba-Ba (fig. 6) :

Les teneurs en Ba diminuent des granites aux rhyolites, ce qui dénote un certain degré de cristallisation fractionnée du feldspath potassique. Mais ces teneurs n'étant jamais très élevées (< 900 ppm), les roches acides oligocènes ne peuvent être

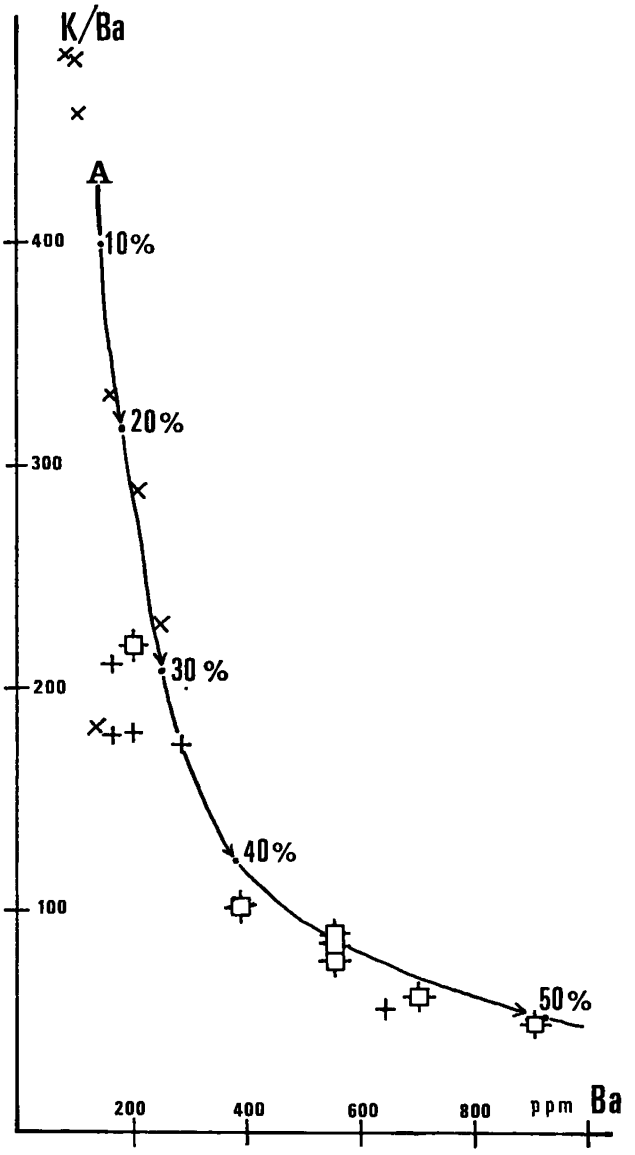


Fig. 6. — Diagramme K/Ba en fonction de Ba pour la période oligocène
(même légende que pour la fig. 5).
A, Courbe de fusion d'un gneiss à 700° C (*in* DUPUY, 1970).

considérées comme des produits de fin de différenciation d'un magma basique.

La valeur du rapport K/Ba permet d'opposer granites et rhyolites porphyriques (< 200) aux rhyolites fluidales (> 200). Dans ces dernières, l'augmentation du rapport est due à la mobilité du potassium, en liaison avec l'action des fluides qui ont dévitrifié la roche. Cette autopneumatolyse explique aussi les variations du Rb précédemment décrites.

Sur ce diagramme, les points représentatifs des granites se placent sur la courbe de fusion partielle d'un gneiss à 700° C pour 40 à 50 % de matériel fondu (Dupuy, 1970). La tendance rhyolitique, tout en coïncidant avec cette courbe, ne correspond pas à des degrés décroissants de la fusion partielle ; comme nous venons de le voir, elle n'est qu'une conséquence de l'action des fluides.

K/Rb-Rb (fig. 7) :

Les rhyolites s'opposent par leur dispersion au groupe des granophyres et des granites ; en effet, dans les faciès effusifs, Rb et K varient beaucoup et sont indépendants.

Là encore, la fusion à 700° C de plus de 40 % de gneiss semble nécessaire pour aboutir aux granites. La position des rhyolites dans ce diagramme n'implique pas un degré de fusion partielle inférieur à 40 %, ce qui confirme leur lien génétique avec les granites.

Conclusion :

Les importantes manifestations acides de l'Oligocène, bien qu'associées localement à des émissions de latites et de dacites, ne sont pas liées à un volcanisme basique. Leurs teneurs en éléments-traces excluent d'ailleurs l'hypothèse d'une origine par cristallisation fractionnée à partir d'un magma basaltique. La fusion partielle d'un matériel crustal semble donc très plausible pour obtenir le magma palingénétique qui a engendré granites et rhyolites.

Par ailleurs, dans les chambres magmatiques superficielles, des phénomènes secondaires déterminent les tendances géochimiques distinctes des produits acides. Celles-ci s'expliquent en partie par une cristallisation fractionnée avec séparation des minéraux calciques et ferromagnésiens (Rb, Sr) à laquelle se surimpose une autopneumatolyse importante pour les faciès à texture fluidale la mieux marquée (K/Ba, Rb).

3° *Période miocène.*

Rb-Sr (fig. 8 *a* et 8 *b*) :

La droite Rb/Sr = 0,1 sépare un domaine basique, où les teneurs en Rb sont très étalées, d'un domaine acide, où celles en Sr montrent de grandes fluctuations mais sont en moyenne beaucoup plus élevées que celles des roches acides oligocènes (fig. 8 *a*).

L'augmentation des teneurs en Rb, des basaltes alcalins aux andésites, puis aux trachyandésites, est liée à la richesse en potassium croissante de ces roches.

L'étalement des points représentatifs des rhyodacites et des dacites correspond à des différences de texture plus qu'à des variations de leur composition minéralogique. Les faciès à texture fluidale

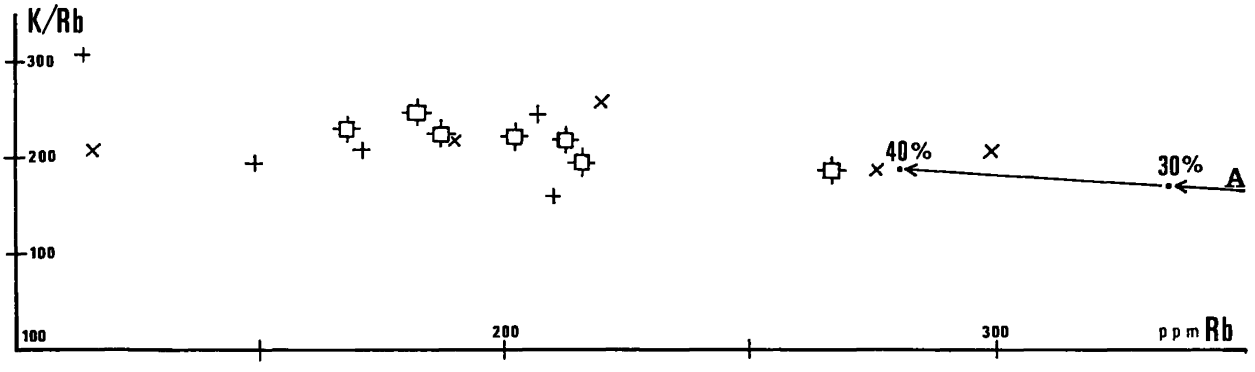


Fig. 7. — Diagramme K/Rb en fonction de Rb pour la période oligocène. (même légende que pour les fig. 5 et 6).

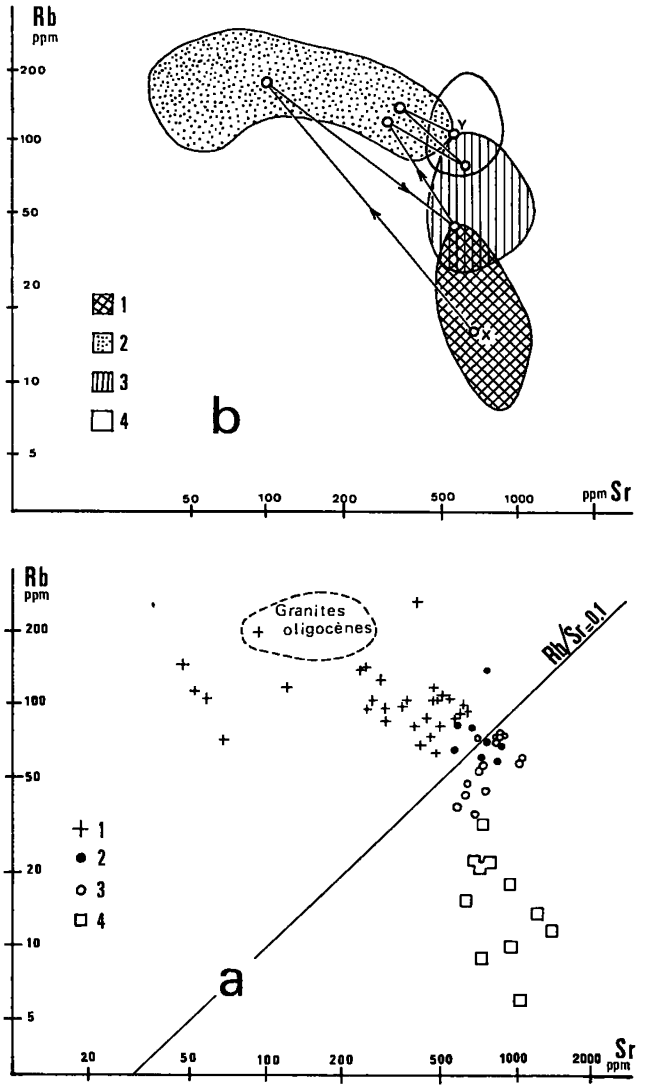


Fig. 8. — Diagramme Rb-Sr pour la période miocène.

8a : 1, Rhyodacites et dacites ; 2, Trachyandésites ; 3, Andésites et latite-andésites ; 4, Basaltes.

8b : X → Y représente la chronologie des émissions au cours du cycle volcanique burdigalien (voir fig. 9) ; 1, Basaltes ; 2, Rhyodacites et dacites ; 3, Latite-andésites et andésites ; 4, Trachyandésites.

ou très vitreuse possèdent les valeurs les plus excentriques par rapport au pôle acide moyen.

Les basaltes alcalins, andésites, trachyandésites et rhyodacites déterminent des aires de répartition sécantes dans la fig. 8 *b,* ce qui confère à l'ensemble une apparente continuité. Mais plusieurs raisons nous empêchent d'y voir une lignée de différenciation à partir des basaltes alcalins :

— les produits acides et intermédiaires sont de loin les plus importants en volume, tandis que les basaltes, fréquents à la base de la série, sont en fait peu abondants ;

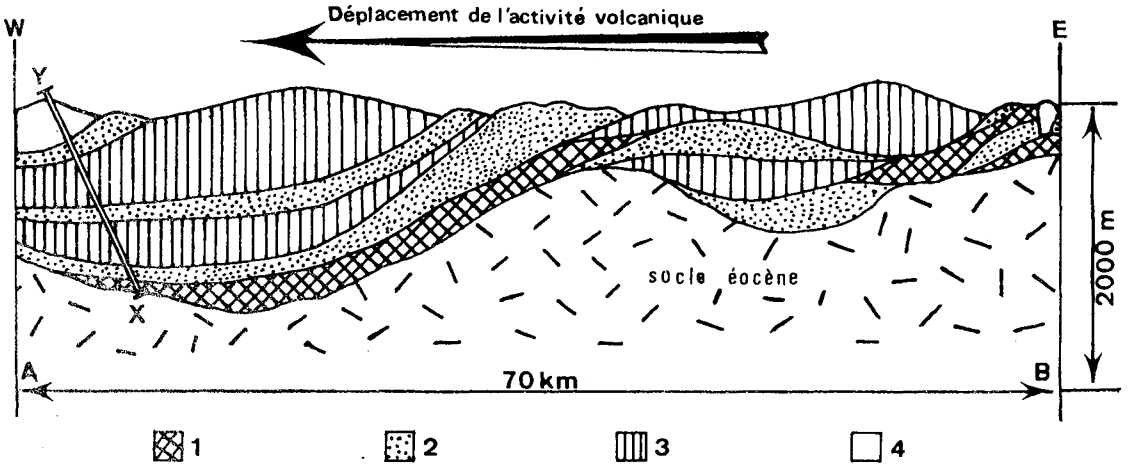


Fig. 9. — Coupe schématique (cf. A-B, fig. 1) illustrant la succession des émissions volcaniques du Miocène inférieur de la région de Mianeh (même légende que pour la fig. 8b).

— par ailleurs, l'alternance rythmique des émissions acides et basiques est un caractère constant du volcanisme miocène. Ainsi la coupe X-Y (fig. 9), matérialisée par des flèches dans la figure 8 *b*, présente-t-elle la succession suivante : basalte alcalin (X) → tuf rhyodacitique → andésite à pyroxène → rhyodacite (ignimbrite) et dacite → latite-andésite porphyrique → rhyodacite (nappe de ponces) → trachyandésite à amphibole (Y).

L'opposition entre les ensembles acide et basique s'atténue progressivement et disparaît localement avec l'émission de trachyandésites. Cette alternance se retrouve, plus ou moins complète, tout au long de la coupe AB (fig. 9). L'emboîtement des différents appareils met en évidence le déplacement de l'activité volcanique de l'Est vers l'Ouest au cours de l'Aquitanien-Burdigalien.

K/Ba-Ba (fig. 10) :

Sur le diagramme 10 *a*, les ensembles acide et basique, tout en présentant une zone commune, se différencient nettement l'un de l'autre. Chacun d'eux est représenté dans la fig. 10 *b* par plusieurs courbes qui symbolisent des associations géochimiques précises.

Dans *l'ensemble basique*, deux lignées parallèles sont définies par les basaltes alcalins (1) et par les andésites (2). Les secondes ne peuvent donc pas dériver des premiers par cristallisation fractionnée. Cependant ce processus peut être invoqué pour expliquer l'étalement des points au sein de chaque lignée. Ceci est particulièrement net dans les grands appareils andésitiques dont les dernières coulées, plus acides, sont enrichies en Ba. On peut voir ici l'influence de la séparation de l'olivine et du pyroxène.

Dans *l'ensemble acide*, pour plus de clarté, nous n'avons distingué que trois lignées principales subparallèles (3, 3′ et 3″). L'une d'entre elles (3) est matérialisée par les points représentatifs des différents faciès d'un même dôme-coulée, à compositions chimique (dacite) et minéralogique relativement constantes (fig. 10 *a*′). De la même façon, les produits issus des deux principaux centres d'émission rhyodacitique définissent les deux autres courbes (3′ et 3″). Les roches acides étant surtout représentées par des coulées à texture fluidale et par des ignimbrites, les fluides jouent, dans l'étalement des teneurs, un rôle plus important que la cristallisation fractionnée (séparation du plagioclase).

Les points représentatifs des trachyandésites, émissions terminales très localisées, se partagent entre les ensembles acide et basique.

Interprétation :

Les différences de texture (dacites, rhyodacites), les mélanges imparfaits (certaines trachyandésites)

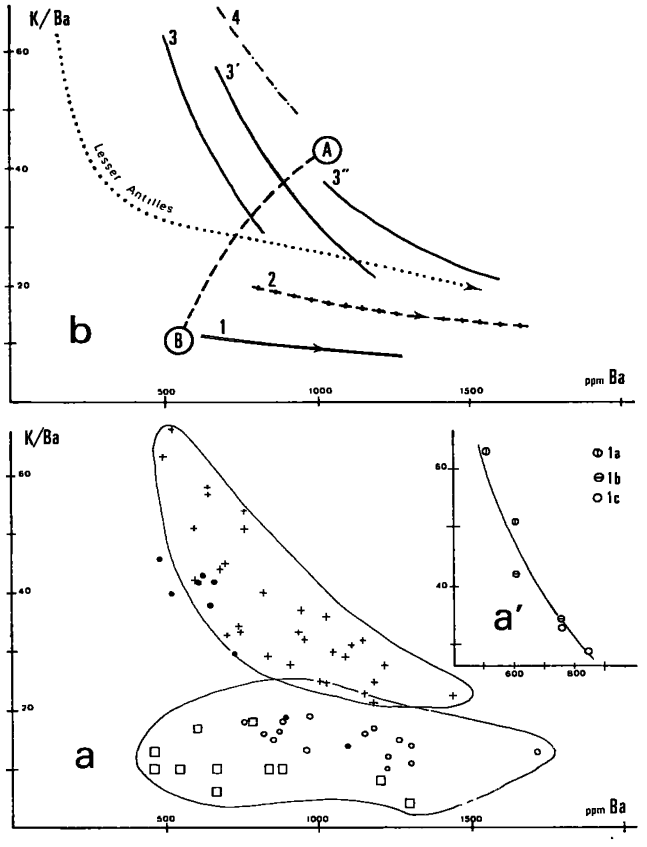


Fig. 10. — Diagramme K/Ba en fonction de Ba pour la période miocène.

10a · Même légende que pour la figure 8a.

10a' : Points représentatifs des différents faciès d'un dôme-coulée dacitique. — 1a, Faciès fluidal ; 1b, Faciès vitreux ; 1c, Pechstein.

10b : Principales tendances géochimiques. — 1, Basaltes ; 2, Andésites ; 3, 3', 3'', Rhyodacites et dacites ; 4, Courbe de fusion d'un gneiss à 700° C (voir fig. 6) ; A, Pôle rhyolitique ; B, Pôle basaltique.

et même la cristallisation fractionnée (andésites et basaltes) sont liés à des phénomènes intervenant dans les chambres magmatiques superficielles. Il est donc nécessaire d'en faire abstraction avant de formuler des hypothèses sur la nature originelle des magmas.

Le diagramme 10 *b* montre que l'ensemble acide ne peut dériver de l'ensemble basique par simple différenciation. Nous proposons donc un modèle bimagmatique caractérisé par un pôle basaltique alcalin (B) et par un pôle acide (A) (fig. 10 *b*). Ce dernier, défini par référence aux granites oligocènes, correspond à la fusion de près de 50 % de gneiss à 700° C. La composition A résulterait de la fusion partielle de matériaux sialiques provoquée par un dôme thermique accompagnant la montée du basalte alcalin B.

Cependant, aucune rhyolite de composition analogue n'a été rencontrée au Miocène : on pourrait alors imaginer une fusion partielle aboutissant à un pôle acide différent (par exemple dacitique).

Nous préférons envisager une contamination réciproque modifiant la composition des magmas initiaux : ainsi le magma rhyolitique aboutirait-il aux dacites et aux rhyodacites, tandis que le magma basaltique céderait en partie la place à un important stock andésitique. Les compositions des magmas résultants peuvent être matérialisées par la courbe A-B de la figure 10 *b*.

En liaison avec l'ouverture progressive d'une zone d'extension au début du Miocène, cette évolution s'est déroulée assez rapidement pour que le phénomène de contamination n'aboutisse pas à un mélange magmatique homogène et unique.

4° *Période pliocène* (fig. 11).

Rb Sr. — Les basaltes alcalins du Pliocène ont une composition analogue à ceux du Miocène inférieur. Les gabbros s'en distinguent par un appauvrissement de leurs teneurs en Rb et en Sr.

K/Ba-Ba. — Les gabbros, nettement séparés des basaltes alcalins par une diminution des teneurs en Ba, manifestent des caractères de cumulats. Deux échantillons de basaltes vacuolaires possèdent des teneurs très élevées en baryum qui ne peuvent être expliquées par la minéralogie ou par une quelconque évolution géochimique.

Ca/Sr-Sr. — L'ensemble des points représentatifs montre un étalement important des teneurs en Sr pour une faible variation du Ca. La valeur élevée du rapport Ca/Sr pour les gabbros traduit une tendance de cumulat tholéiitique confirmée par leur appauvrissement en Ba et en Rb.

3. Conclusions générales.

La région de Mianeh offre un panorama complet des épisodes volcaniques tertiaires grâce à sa situation privilégiée sur une zone de fractures méridiennes.

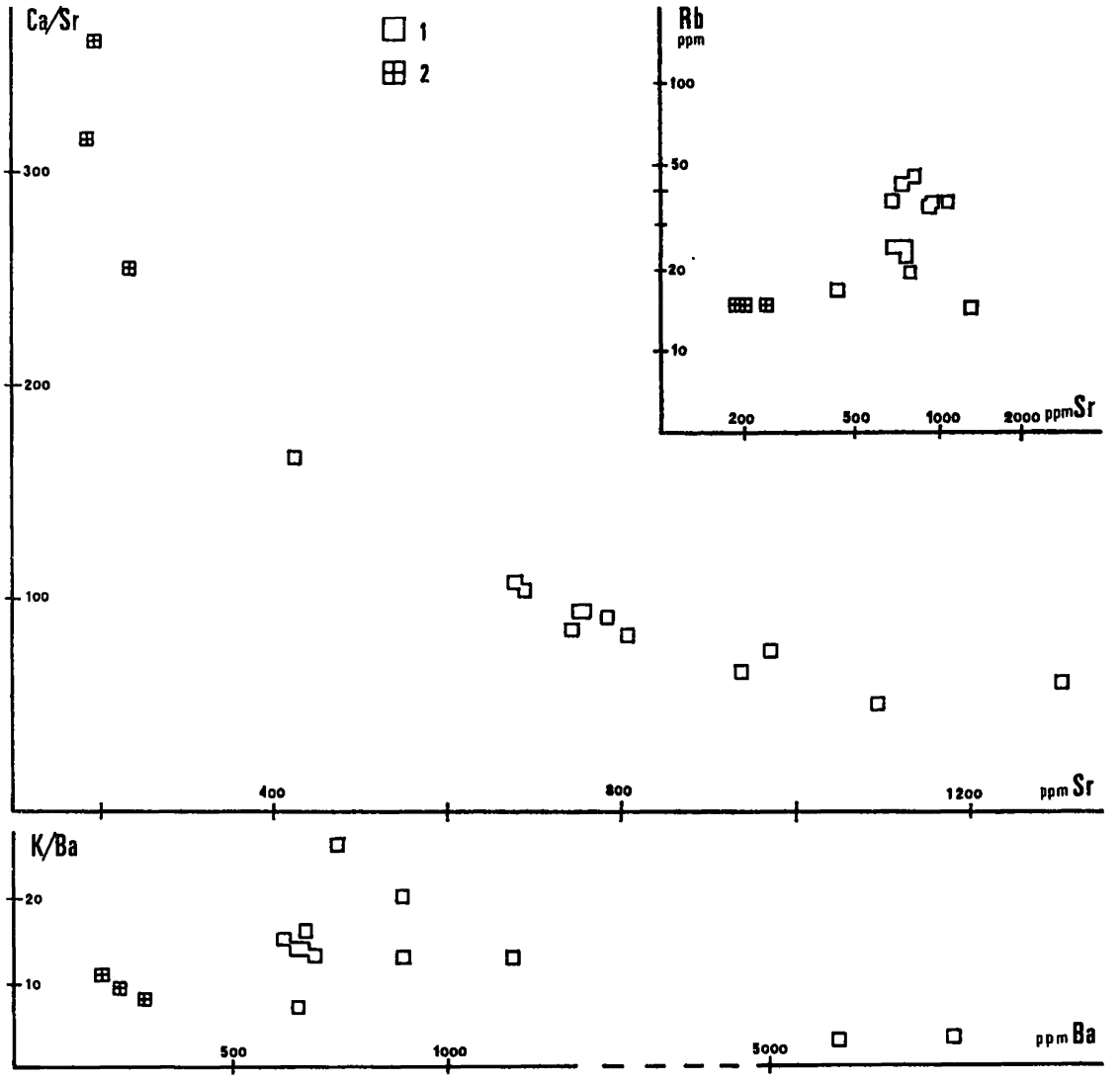


Fig. 11. — Comportement géochimique des basaltes (1) et des gabbros (2) pliocènes.

Partie intégrante de la grande bande volcanique tertiaire traversant tout l'Iran et interprétée par SABZEHI (1974) comme un rift avorté, cette région est à l'Eocène le siège d'un volcanisme intermédiaire très important. A la suite de AMIDI (1975), nous pensons que des mouvements rythmiques d'ouverture associés à des « panaches thermiques » pourraient expliquer les quatre épisodes alcalins successifs mis en évidence en Azerbaïjan beaucoup mieux qu'une très hypothétique subduction (JUNG et *al.*, 1975). Le caractère alcalin général et la richesse en éléments incompatibles, notamment des latites porphyriques et des trachyandésites analcimiques, permettent d'envisager l'origine profonde, sans doute dans le manteau supérieur, des magmas fondamentaux. Aux endroits où l'activité volcanique est la plus intense, la montée de ces magmas alcalins peut s'accompagner d'une fusion partielle de la croûte, responsable de l'émission de laves acides.

La partie inférieure de la séquence volcanique éocène a été affectée dans la région de Mianeh par un important flux thermique contemporain des épisodes moyen et supérieur. Ce phénomène appa-

raît comme un précurseur de l'activité thermique qui se poursuit à l'Oligo-Miocène et provoque alors la fusion partielle du matériel crustal, engendrant un magma granitique. Celui-ci se manifeste en Iran surtout sous la forme de massifs intrusifs grenus alors que, dans la région de Mianeh, il aboutit à des extrusions massives de rhyolites fluidales. Ce volcanisme acide résulte de la conjugaison de la phase tectonique de l'Oligocène inférieur et d'un gradient géothermique élevé localisé selon le système de fractures méridiennes. Simultanément, les fluides associés provoquent une dévitrification autopneumatolytique des faciès les plus fluidaux et une altération hydrothermale de l'encaissant.

Dès l'Oligocène supérieur, le magma acide est perturbé par la montée de basaltes alcalins le long de fractures profondes. Au Burdigalien, une contamination réciproque modifie la composition de ces magmas initiaux et aboutit à l'émission simultanée de dacites, rhyodacites, andésites et latite-andésites au-dessus des basaltes. Le déplacement des centres d'activité vers l'Ouest empêche l'homogénéisation des magmas.

Après la phase de plissement du Miocène supérieur, un nouvau cycle volcanique s'esquisse au Pliocène. Il n'aboutit dans la région qu'à des émissions ponctuelles de basaltes alcalins peu différenciés.

RÉFÉRENCES

AMIDI (S.-M.) (1975). — Contribution à l'étude stratigraphique, pétrologique et pétrochimique des roches magmatiques de la région Natanz-Naïn-Surk (Iran central) (*Thèse d'Etat,* Grenoble, 316 p.).

DEDUAL (E.) (1967). — Zur Geologie des mittleren und unteren Karaj-Tales, Zentral Elburz (Iran) (*Mitt. Geol. Inst. ETH. Univ. Zürich*).

DIDON (J.) et GEMAIN (Y. M.) (1976). — *Thèse 3e cycle,* Grenoble.

DUPUY (C.) (1970). — Contribution à l'étude des fractionnements géochimiques des alcalins, des alcalino terreux et du gallium au cours des processus magmatiques (*Thèse d'Etat,* Montpellier, 340 p.).

DUPUY (C.) et LEFÈVRE (C.) (1974). — Fractionnement des éléments en trace Li, Rb, Ba, Sr dans les séries andésitiques et shoshonitiques du Pérou. Comparaison avec d'autres zones orogéniques (*Contr. Mineral. Petrol.,* 46, 147-157).

HARRIS (P. G.) (1974). — Anatexis and other processes within the mantle. Pp. 427-436, *in* Sörensen H. (Ed.) : The Alkaline Rocks, Wiley, New-York.

JUNG (D.), KURSTEN (M.), TARKIAN (M.) (1975). — Post-mesozoic volcanism in Iran and its relation to the subduction of the Afro-Arabian plate under the Eurasian plate (« *Afar Monograph* », *Deutsche Forschungsgemeinschaft*).

LESCUYER (J. L.) et RIOU (R.) (1976). — *Thèse 3e cycle,* Grenoble.

SABZEHI (M.) (1974). — Les mélanges ophiolitiques de la région d'Esfandagheh (Iran méridional) (*Thèse d'Etat,* Grenoble, 306 p.).

STOECKLIN (J.) (1968). — Structural history and tectonics of Iran : a review (*Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.,* 52, 7, 1229 1258).

Manuscrit déposé le 30 avril 1976.