

L'éruption d'Asal de novembre 1978

par JACQUES DEMANGE *, LAURENT STIELTJES * et JACQUES VARET *

Mots clés. — Éruption (Fissurale), Coulées (Fissurale, Novembre 1978), Basalte, Texture porphyrique, Phénocrystal, Bytownite, Rift.

Djibouti, Depression Afar (Asal).

Résumé. — L'éruption basaltique fissurale que nous avons pu observer sur place et qui s'est déroulée du 7 au 14 novembre 1978 dans la zone axiale du rift d'Asal était accompagnée d'une importante crise tectonique et sismique.

Les laves émises à phénocristaux de bytownite sont semblables à celles épanchées lors des émissions antérieures. Elles proviendraient d'un réservoir du même type que le précédent mais probablement réalimenté par un magma d'origine moins profonde.

La production importante de basalte au niveau de la ride d'Asal alliée à l'amincissement crustal provoque un bombement à l'apex de la dorsale qui progresse vers le Nord-Ouest dans cette zone ; tandis que dans la zone du Ghoubbet la production de magma qui ne compense pas l'effet de la tectonique amène un enfoncement du rift.

The Asal eruption of November 1978

Abstract. — The basaltic fissural eruption of November 7. to 14., 1978 we observed in the axial rift of Asal was correlated with an important tectonic and seismic crisis. The lavas produced with bytownite phenocrists are similar to the older ones. They would erupt from a magma chamber similar to the previous one but refed by a magma generated at shallower depth.

The important production of basalt on the Asal ridge associated with the thickness of the crust generates a bulge at the apex of the ridge which progresses in this area along a N-W direction, whereas in the Goubbet area the magma production does not counter-balance the tectonic activity provoking a subsidence of the ridge.

Après une journée de crise sismique, une éruption basaltique fissurale avec édification d'un cône de scories s'est déroulée du 7 au 14 novembre 1978 dans la zone axiale du rift d'Asal située à l'extrémité occidentale du golfe de Tadjoura. Cette éruption a accompagné une importante crise tectonique et sismique affectant sur toute sa longueur la zone axiale du rift émergé ainsi que le rift sous-marin du Ghoubbet el Kharab [Kasser *et al.*, 1979]. La forme et l'alignement des cônes de scories édifiés au cours de l'éruption illustrent outre leur synchronisme la liaison entre les phénomènes tectoniques et volcaniques.

L'activité magmatique a probablement commencé le 7 novembre avec la formation d'un groupe de trois appareils disposés sur des tronçons de fractures parallèles de 200 à 300 mètres de long, se relayant « en échelon » sur près d'un kilomètre, et de direction tectonique régionale N 320.

De manière certaine à partir du 9 novembre, et probablement le 8 d'après certains témoignages visuels d'habitants d'Arta, l'activité s'est concentrée en un seul appareil constitué de deux murailles parallèles formé de lambeaux soudés de lave. Ce cône haut d'environ 40 mètres dessine une ellipse allongée dans le sens de la fissure longue de 200 mètres environ et large de plus de 30 mètres. Le 10 (premier jour de l'observation) il était le siège d'une intense activité de fontaines réparties tout le long de la fissure et qui ont petit à petit migré pour ne subsister le 14 qu'à l'extrémité sud-est de l'appareil. Le nombre de fontaines, constant du 10 au 13 novem-

bre (35 à 40 par minute), diminua brusquement le 14 au matin (15 à 20 fontaines par minute). Ce phénomène fut accompagné par la réduction du panache de fumée du volcan déjà amorcée durant la nuit du 13 au 14. Il ne restait alors dans le volcan qu'un petit cratère de forme circulaire d'une quinzaine de mètres de diamètre où subsistait une faible activité magmatique qui disparut complètement vers 17 h [Demange *et al.*, 1978].

L'émission de coulées a produit plus de 15 millions de m³ de lave (fig. 1) qui se sont écoulés principalement par un très large chenal dirigé vers le Nord. Une estimation journalière des surfaces et des volumes de lave faite (fig. 2), on constate qu'à partir du 10 novembre, le volume des produits émis a commencé à décroître. Les principaux phénomènes liés à l'activité volcanique sont résumés dans le tableau I.

A partir des données de la sismique [Anis A. M. *et al.*, 1979 ; Le Dain *et al.*, 1979], l'on peut estimer les relations existant entre crise sismique et activité volcanique (fig. 3). L'activité sismique la plus intense — tant en nombre de séismes qu'en magnitude — correspond à la déchirure des terrains par laquelle l'éruption s'est épanchée 24 heures après le début de la crise. Une période de même ordre sépare la diminution brusque du nombre journalier de séismes,

* B.R.G.M. - S.G.N./Dépt. GTH, B. P. 6009, 45060 Orléans Cedex.

Note présentée à la séance des 23-27 février 1980, manuscrit définitif remis le 8 octobre 1980.

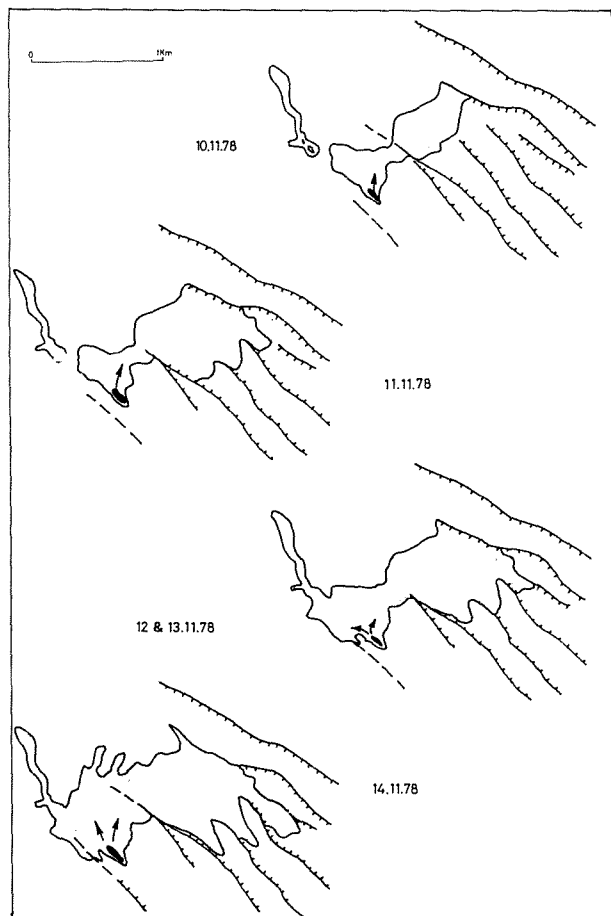


FIG. 1. — Répartition des coulées.

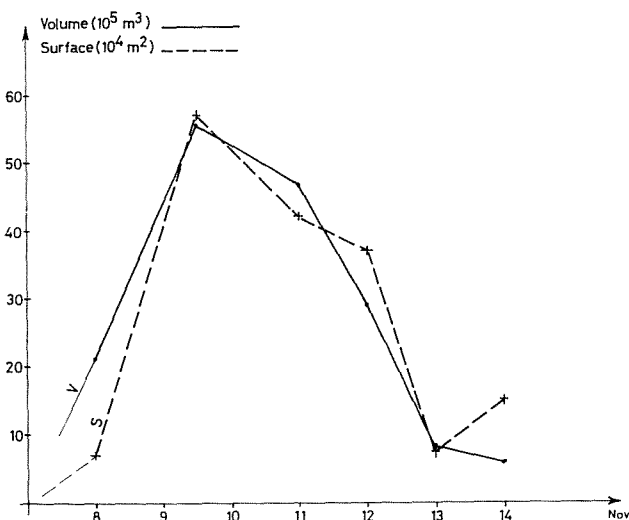


FIG. 2. — Volume et surface de lave : courbe journalière.

de la fin de l'éruption au cours de laquelle aucun séisme de forte magnitude n'a eu lieu ($m > 4$).

L'Ardoukôba est situé à l'extrémité nord-ouest dorsale d'une zone tectonique très active qui a rejoué lors de l'éruption (fig. 4) en ouvrant de nombreuses failles. Des effets de même type mais moins marqués ont été reconnus dans d'autres parties du graben d'Asal. La première estimation de mouvement d'extension de la dorsale [Demange *et al.*, 1978] a été confirmée et affinée par les mesures de géodésie [Kasser *et al.*, 1979].

Le volcan a émis uniquement des laves riches en

	7	8	9	10	11	12	13	14	novembre
Eruption cône principale									17h
Coulées N									
S									
E									
W									
Hornitos									
Panache									
Activité de fontaine									
Projections refroidies									

TABLE I. — Activité de l'Ardoukôba.

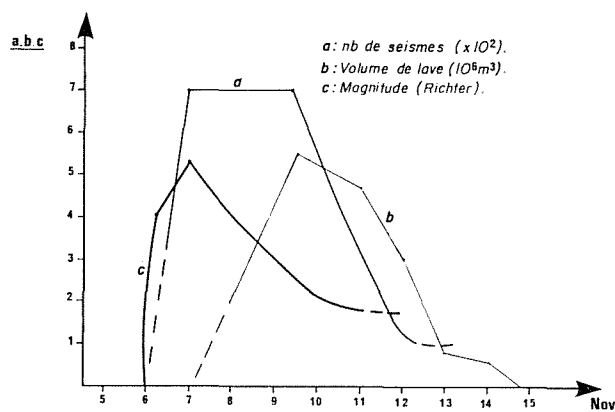


FIG. 3. — Comparaison entre activité sismique, volcanique et magnitude des séismes.

73) à la limite labrador-bytownite. Deux générations de microlites s'individualisent bien :

— la première qui constitue le fond de la roche a une composition variant de An 67 à An 73 et présente parfois une zonation inverse ;

— la seconde génération est associée au verre résiduel et est légèrement plus acide (An 53-59).

Les olivines en phénocristaux parfois enclavées dans les bytownites ont une composition qui varie de Fo85 à Fo73.

La cristallisation des phénocristaux de pyroxène s'amorce après celle des olivines et a lieu à peu près simultanément à celle des plagioclases. Dans les premières coulées émises les augites étaient plus riches en calcium que dans les suivantes (de Wo44 à Wo38). Dans les microlites de la pâte on note

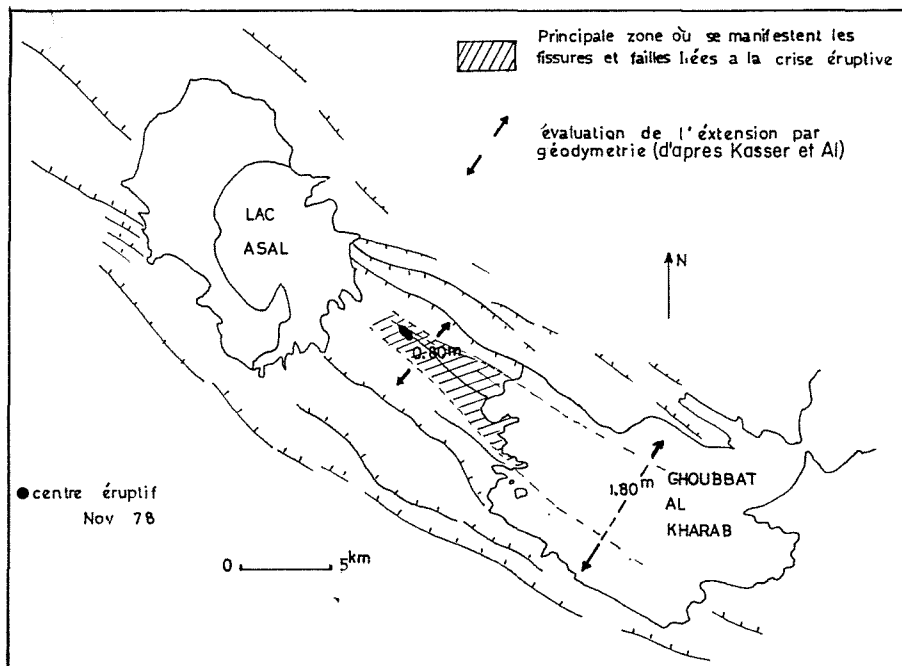


FIG. 4. — Répartition des principaux effets tectoniques lors de la crise volcanotectonique.

phénocristaux de plagioclase du même type que celles émises précédemment sur cette voûture, en compagnie de laves aphyriques (fig. 5).

Les phénocristaux (35 à 40 % de la roche) sont en majorité des plagioclases et sont associés à des olivines et des pyroxènes.

Les phénocristaux de plagioclase non zonés ont une composition homogène (An 80-87) avec parfois une reprise de cristallisation en périphérie (An 76-80). A ceux-ci sont associés en quantité moindre des phénocristaux généralement plus petits (An 66-

un enrichissement sensible en fer (de Fs 10 à fs 17,5).

Les verres sont de composition chimique variable suivant leur localisation : en inclusions dans les phénocristaux de bytownite, piégés dans les bordures de recristallisation de ces mêmes phénocristaux, ou bien ils représentent un liquide résiduel non cristallisé dans la mésostase (tabl. II).

Les inversions de zonalité des plagioclases, de même que la présence de phénocristaux de composition plus acide que les bytownites, font penser à une réalimentation en magma du réservoir. Les

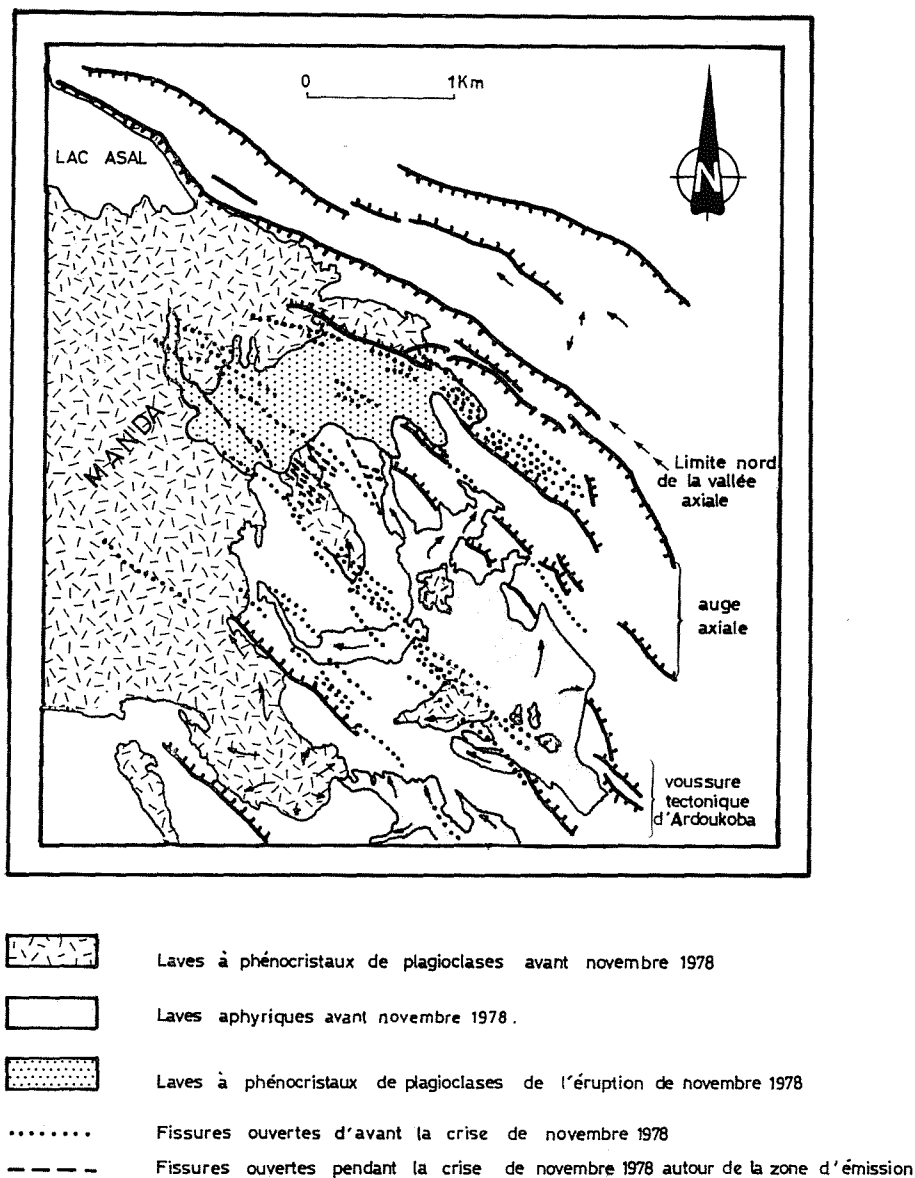


FIG. 5. — Répartition et pétrographie des coulées émises le long de la vossure tectonique de l'Ardoukoba.

verres en inclusions dans les bytownites ne représentent pas forcément le liquide initial de cette éruption. Seuls les verres piégés dans les bordures de phénocristaux et le verre résiduel représentent l'évolution d'un même liquide. Ils permettent de retracer l'évolution de ce liquide magmatique avec un fort enrichissement en FeO (fig. 6). Ils ont un chimisme comparable à celui des inclusions dans les bytownites des éruptions précédentes [Clocchiatti *et al.*, 1978], mais un enrichissement en fer supérieur à celui de la série d'Asal connue jusqu'à présent [Stieltjes *et al.*, 1976] et comparable à la série

tholéiitique d'Hawaï. Les verres les plus basiques s'intègrent mal dans ce schéma, et sont chimiquement plus proches de ceux décrits pour la série axiale d'Asal. L'on remarque aussi que pour une teneur en potassium équivalente, les roches de l'éruption de l'Ardoukoba sont légèrement plus riches en silice et plus pauvres en titane.

L'enrichissement de ces laves en phénocristaux et plagioclase résulterait de phénomènes de flottaison au toit des chambres magmatiques superficielles comme cela a été observé en d'autres lieux d'Asal [Stieltjes *et al.*, 1976].

n°	38	4	13	As 3	As 5	
SiO ₂	48,77	49,53	48,78	48,00	46,40	
TiO ₂	2,08	2,49	3,40	2,04	1,38	
Al ₂ O ₃	13,63	13,38	12,47	17,60	21,13	
Fe ₂ O ₃	nd	nd	nd	3,80	2,97	
FeO*	10,07	12,75	17,53	7,53	5,52	
CaO	10,64	9,27	8,46	11,90	14,05	
MgO	9,61	6,11	3,74	5,05	5,30	
MnO	0,11	0,43	0,11	0,16	0,13	
Na ₂ O	2,12	3,51	3,24	2,95	2,47	
K ₂ O	0,38	0,59	0,52	0,35	0,20	
P ₂ O ₅	-	-	-	0,27	0,14	
	97,41	98,06	98,25	99,65	99,69	
Norme						
or	2,31	3,56	3,13	2,08	1,19	
ab	18,39	30,25	27,87	25,03	18,13	
an	27,22	19,36	18,24	33,83	46,07	
ne	-	-	-	-	1,52	
wo	11,22	11,48	10,20	9,96	9,63	
di	6,53	4,96	2,78	5,75	6,22	
fs	4,14	6,51	7,94	3,75	2,75	
en	10,20	1,40	3,84	3,63	-	
Hyp	fs	6,46	1,84	10,98	2,37	-
fo	5,55	6,45	2,03	2,31	4,95	
ol	fa	3,88	9,35	6,39	1,67	2,42
mg	-	-	-	5,15	4,19	
ilm	4,06	4,82	6,57	3,89	2,63	
ap	-	-	-	0,59	0,31	

Le volume de lave (0,016 km³) émis lors de cette éruption, et composé uniquement de basalte à phénocristaux de plagioclase est au moins égal à celui de l'ensemble des coulées fissurales tant aphyriques que porphyriques de la voussure tectonique d'Ardoukôba (activité la plus récente d'Asal) (fig. 5). Le volume du réservoir doit être supérieur à celui ou à ceux ayant alimenté ces éruptions.

On peut considérer que les laves de l'Ardoukôba proviennent d'un réservoir indépendant de même type que les précédents mais probablement réalimenté par un magma d'origine moins profonde produit par fusion partielle incipiente affectant le

TABLE II. — Analyses chimiques des différents types de verres et des principaux minéraux.

Verres : n° 38 : verre inclus dans les phénocristaux de bytownite ; n° 4 : verre piégé en bordure des phénocristaux de plagioclase ; n° 13 : verre résiduel de la pâte ; n° As₃ : cheveux de Pélé ; n° As₅ : lave à phénocristaux de plagioclase.

	PYROXÈNES			OLIVINES			PLAGIOCLASES									
	4	49	29	9	34	64	19	37	7	44	2	11		30		
Na ₂ O	.00,23	.00,29	.00,11	-	-	-	.01,45	.01,63	.02,92	.03,60	.03,77	.04,81	.05,27	Na ₂ O		
SiO ₂	.51,09	.52,19	.51,27	.38,09	.39,26	.39,46	.46,98	.46,89	.49,45	.52,03	.52,77	.54,61	.55,40	SiO ₂		
FeO**	.05,76	.09,32	.10,77	.24,47	.13,61	.16,08	.00,43	.00,62	.00,51	.00,69	.00,59	.00,83	.00,84	FeO**		
CaO	.20,74	.19,60	.16,92	.00,28	.00,33	.00,39	.17,63	.17,27	.15,15	.13,98	.13,08	.11,06	.10,93	CaO		
MgO	.15,77	.16,39	.17,01	.37,41	.45,84	.43,48	.00,17	.00,11	.00,06	.00,24	.00,15	.00,17	.00,12	MgO		
Al ₂ O ₃	.04,52	.2,15	.02,06	.00,04	-	-	.34,13	.33,56	.32,06	.30,25	.29,64	.28,27	.27,98	Al ₂ O ₃		
MnO	.00,13	.00,13	.00,27	.00,33	.00,08	.00,27	-	-	-	-	-	-	-	MnO		
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	.00,10	.00,10	.00,05	.00,16	.00,15	K ₂ O		
NiO ₂	-	-	.00,32	-	.00,13	.00,11	-	-	-	-	-	-	-	NiO ₂		
ZnO	-	-	.00,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ZnO		
Cr ₂ O ₃	.00,38	.00,06	.00,15	.00,05	.00,14	-	-	-	-	-	-	-	-	Cr ₂ O ₃		
TiO ₂	.00,82	.00,83	.00,84	-	.00,03	-	-	-	-	-	-	-	-	TiO ₂		
	.99,44	100,96	.99,83	100,67	.99,42	.99,79	100,79	100,03	100,24	100,39	.99,65	99,31	100,69			
Na	0,017	0,021	0,008	0,000	0,000	0,000	0,128	0,145	0,258	0,322	0,336	0,422	0,458	Na		
Si	1,870	1,920	1,913	0,995	0,988	0,999	2,138	2,152	2,253	2,350	2,364	2,469	2,401	Si		
Fe	0,180	0,772	0,336	0,535	0,286	0,341	0,016	0,024	0,019	0,026	0,023	0,032	0,032	Fe		
Ca	0,829	0,899	0,677	0,008	0,009	0,011	0,860	0,849	0,739	0,677	0,645	0,536	0,524	Ca		
Mg	0,377	0,093	0,946	1,457	1,719	1,641	0,011	0,008	0,004	0,016	0,010	0,013	0,008	Mg		
Al	0,199	0,004	0,941	0,001	-	-	1,831	1,815	1,722	1,610	1,608	1,506	1,477	Al		
Mn	0,004	-	0,009	0,007	0,001	0,006	-	-	-	-	-	-	-	Mn		
K	-	-	-	-	-	-	-	-	0,006	0,006	0,003	0,009	0,009	K		
Ni	-	-	0,010	-	0,003	0,002	-	-	-	-	-	-	-	Ni		
Zn	-	-	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Zn		
Cr	0,011	0,002	0,005	0,001	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	Cr		
Ti	0,023	0,023	0,024	-	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	Ti		
	4,010	4,021	4,020	3,004	3,010	3,000	5,005	5,010	5,017	5,008	4,999	4,989	5,005			
wo	.43,86	.39,37	.34,39	fo	.72,90	.85,65	82,58	ab	.12,92	.14,50	.25,73	.32,09	.34,18	.43,61	.46,20	ab
en	.46,40	.45,81	.48,09					or	.00,07	.00,07	.00,56	.00,57	.00,27	.00,94	.00,88	or
fs	.09,73	.14,82	.17,52					an	.87,01	.85,35	.73,71	.67,35	.65,55	.55,45	.52,92	an

TABLE II (suite). — Analyses chimiques des différents types de verres et des principaux minéraux.

Pyroxènes : n° 4 : microphénocristal des coulées du 10 novembre ; n° 49 : microlite ; n° 29 : microlite.

Olivines : n° 9 : microlite ; n° 34 : phénocristal inclus dans une bytownite ; n° 64 : microphénocristal.

Plagioclases : n° 19, 37, 7 : phénocristaux non zonés ; n° 44, 2 : microphénocristaux ; n° 11, 30 : microlites de la pâte.

Toutes les analyses ont été effectuées par le microanalyseur électronique du BRGM Orléans à l'exception des roches As₃ et As₅ analysées par voie humide en chimie classique.

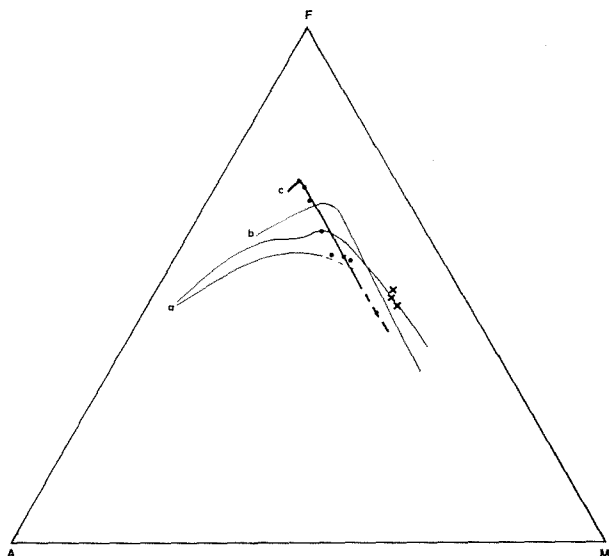


FIG. 6. — Diagramme AFM des verres.

- a : série de l'Erta'ale [Varet *et al.*, 1972];
- b : série récente d'Asal [Stieltjes, 1973];
- c : série de l'Ardoukôba;
- × : verre en inclusion dans les bytownites.

manteau dans cette région, et libéré lors de la rupture brutale de la lithosphère.

La position du centre éruptif situé à 5 km vers le Nord-Ouest de l'apex du bombement de la zone centrale, de même que la répartition des épacentres sismiques et des déformations tectoniques vers le Sud-Est, font penser à une progression Sud-Est-Nord-Ouest de l'ouverture actuelle du rift.

On assiste ainsi à une pénétration progressive vers le Nord-Ouest de la dorsale Ghoubbet Asal. Le long de la frontière active au niveau de Tadjoura et du Ghoubbet, l'activité basaltique dérivant de la fusion partielle du manteau ne compense pas l'effet de la tectonique. De sorte que le rift s'approfondit. Le massif volcanique d'Asal semble résulter d'un déséquilibre inverse entre production de basalte et amincissement crustal tectonique.

La zone Ghoubbet-Asal illustre ainsi deux états de déséquilibre inverses caractérisant l'apex d'une dorsale océanique pénétrant une zone émergée (fig. 7).

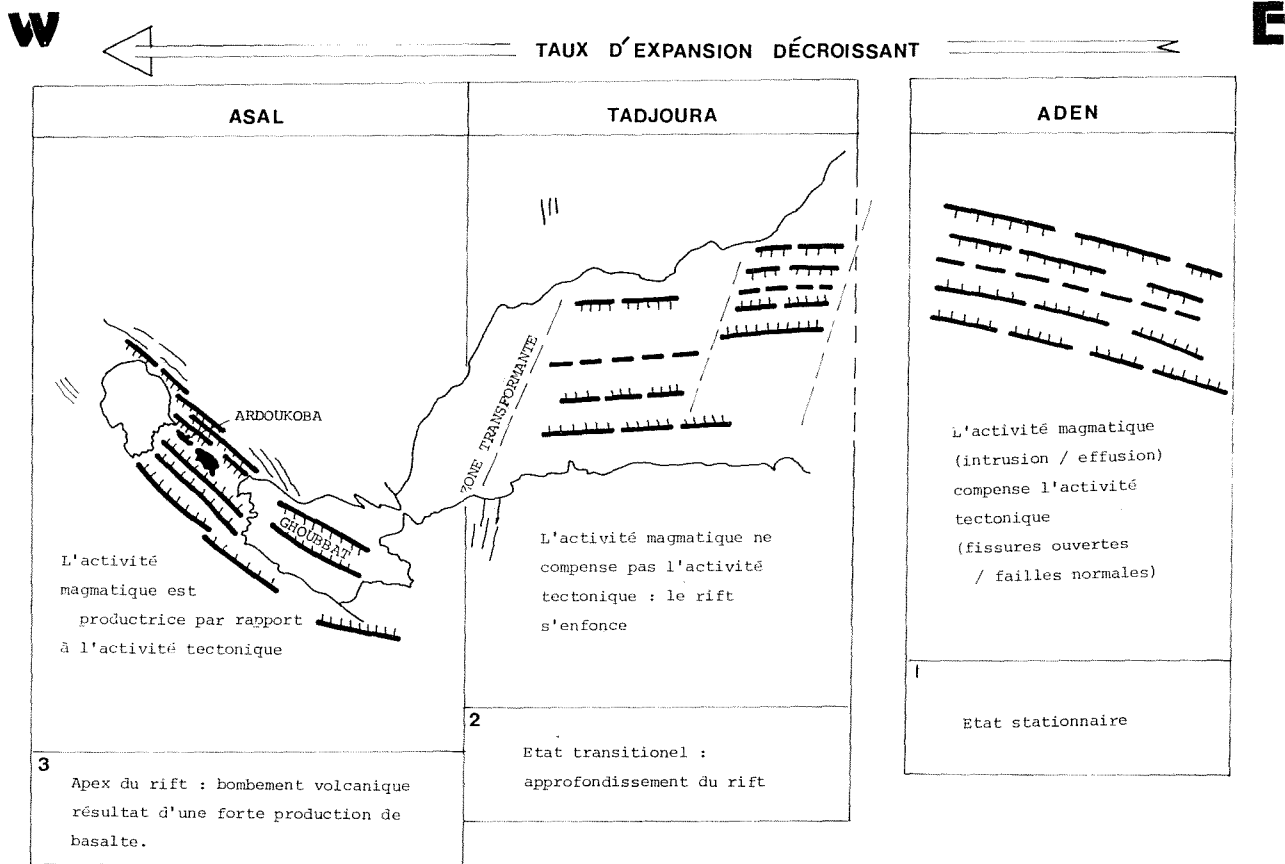


FIG. 7. — Schéma d'évolution de la tectonique et du volcanisme le long de la dorsale Aden-Tadjoura-Asal.

Bibliographie

- ANIS A.-M., COURTILOT V., KASSER M., LE DAIN A. Y., LÉPINE J. C., ROBINEAU B., RUEGG J. C., TAPPONNIER P. and TARANTOLA A. (1980). — The Afar november 1978 and volcanics crisis and its relevance to the mechanics of accreting plate boundaries. *Nature*, vol. 282, n° 5734, p. 17-23.
- CLOCCHIATTI R., HAVETTE A., WEISS J. et WILHELMS S. (1978). — Les bytownites du Rift d'Asal. *Bull. Mineral.*, p. 66-76.
- DEMANGE J. et TAZIEFF H. (1979). — L'éruption tectonique de l'Ardoukôba (Djibouti). *C. R. Acad. Sc.*, Paris, t. 287, sér. D, p. 1269-1272.
- KASSER M., LÉPINE J. C. et RUEGG J. C. (1979). — Mise en évidence de mouvements d'extension sur la dorsale émergée d'Asal Ghoubbet en République de Djibouti. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, t. 288, sér. D, p. 469-472.
- LE DAIN A. Y., ROBINEAU B. et TAPPONNIER P. (1980). — Les effets tectoniques de l'événement sismique et volcanique de novembre 1978 dans le rift d'Asal-Ghoubbet. *Bull. Soc. géol. de France*, (7), t. XXII, n° 6, p. 817-822.
- JORON J. L., STIELTJES L., TREUIL M. et VARET J. (1976). — Le rift d'Asal, séquence de dorsale émergée : discussion pétrologique et géochimique. *Bull. Soc. géol. de France*, (7), t. XVIII, n° 4, p. 851-962.