

## Le volcanisme de l'Aubrac (Massif central) : un bref épisode basaltique (250 000 ans) au Miocène supérieur (7,5 Ma)

*Volcanism from Aubrac (Massif Central):  
a short basaltic episode (250 000 y)  
during the Upper Miocene (7,5 Ma)*

Alain de GOËR de HERVE <sup>(1)</sup>, Jean-Claude BAUBRON <sup>(2)</sup>,  
Jean-Marie CANTAGREL <sup>(1)</sup> et Joseph MAKHOUL <sup>(1)</sup>

Mots-clés : Datation, K-Ar, Basalte, Miocène sup.  
Massif central (Aubrac).

### Résumé

Le plateau basaltique de l'Aubrac s'étend sur 450 km<sup>2</sup>, pour une épaisseur maximale de 300 m dans la région axiale, soit un volume conservé de 40 km<sup>3</sup>. Il est constitué par une série peu différenciée, modérément alcaline (basalte-hawaïite) à fortement alcaline (basanite-téphrite), sans localisation spatio-temporelle préférentielle des divers termes. Cinquante nouveaux âges K-Ar, complétant les données antérieures, sont confrontés aux nouvelles observations de terrain sur quelques coupes sélectionnées. A l'exception de sept âges < 5 Ma rapportés aux planèzes cantaliennes dans la région septentrionale, toutes les valeurs (coulées et dykes) se placent entre 9 et 6 Ma. Dans cet intervalle, des basaltes précoces s'épanchent autour de 8,7 Ma et quelques éruptions tardives se poursuivent jusqu'à 6 Ma, mais 90 % du volume magmatique a été émis en un court épisode autour de 7,5 Ma. Les échantillons recueillis à la base et au sommet des empilements donnent des âges analogues, et aucune échelle chronologique plus fine ne peut être établie. Au vu de l'ensemble des résultats, ce pic d'activité a probablement duré environ 250 ka. Cette valeur, en accord avec les données paléomagnétiques, implique un taux d'émission magmatique moyen de 0,2 km<sup>3</sup>/ka. L'Aubrac s'inscrit en totalité dans le paroxysme éruptif du Miocène supérieur qui caractérise la moitié sud du Massif central (Causses, Coirons, Velay, Cantal). La dégradation de ses formes doit plus à la fersiallisation miocène qu'aux glaciers quaternaires.

### Abstract

The Aubrac basaltic plateau covers 450 km<sup>2</sup>, with a maximal thickness of 300 m in the axial region, accounting for a currently preserved 40 km<sup>3</sup> volume of magma. It consists of mildly alkali basalts and hawaiites together with basanites and tephrites. These various terms have no preferential time and space location. Fifty new K-Ar ages, in addition to previously published results, are discussed with new field data on selected cross sections. With the exception of seven ages younger than 5 Ma, measured on samples related to the late plateau basalts of Cantal more in the north, most of the results — mostly on lava flows and a few on N135 dykes — are bracketed between 9 and 6 Ma. Within this range, older basalts erupted at about 8,7 Ma, late and rare basalts near 6,5 Ma, but 90 % in volume of the magmas erupted at about 7,5 Ma in a short volcanic episode. Samples collected at the base and top of the volcanic pile often gave the same age within analytical error. Thus no more fine scale chronology can be established. Considering all the data, the main peak of volcanic activity probably do not lasted more than 250 ka. This range is in agreement with paleomagnetic data. It gives a rather low mean eruption rate of 0,2 km<sup>3</sup>/ka compared to presently very active volcanoes such as Etna or Piton de la Fournaise.

These results indicate that the uplift and tilting of the eastern border of the Massif Central, linked with the alpine collision, certainly began before 7,5 Ma age. In comparison with nearby volcanic districts, the Aubrac plateau is of the same age as the widespread small basaltic occurrences in the Causses, but also as the last trachyan-desitic phase of Cantal, or the second phonolitic one of eastern Velay. On the other hand, it is slightly older than the basaltic volcanism of Coirons, mainly active around 6,5 Ma. Compared to the much younger similar basaltic plateau of Deves (western Velay), the deeply eroded morphology of Aubrac has to be imputed rather to intense fersiallitic weathering during upper Miocene than to glacial erosion during Pleistocene.

(1) Observatoire de Physique du Globe, URA 10 CNRS et Centre de Recherche Volcanologique, Univ. Blaise-Pascal, 5, rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand Cedex.

(2) BRGM, Service Géologique National, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2.

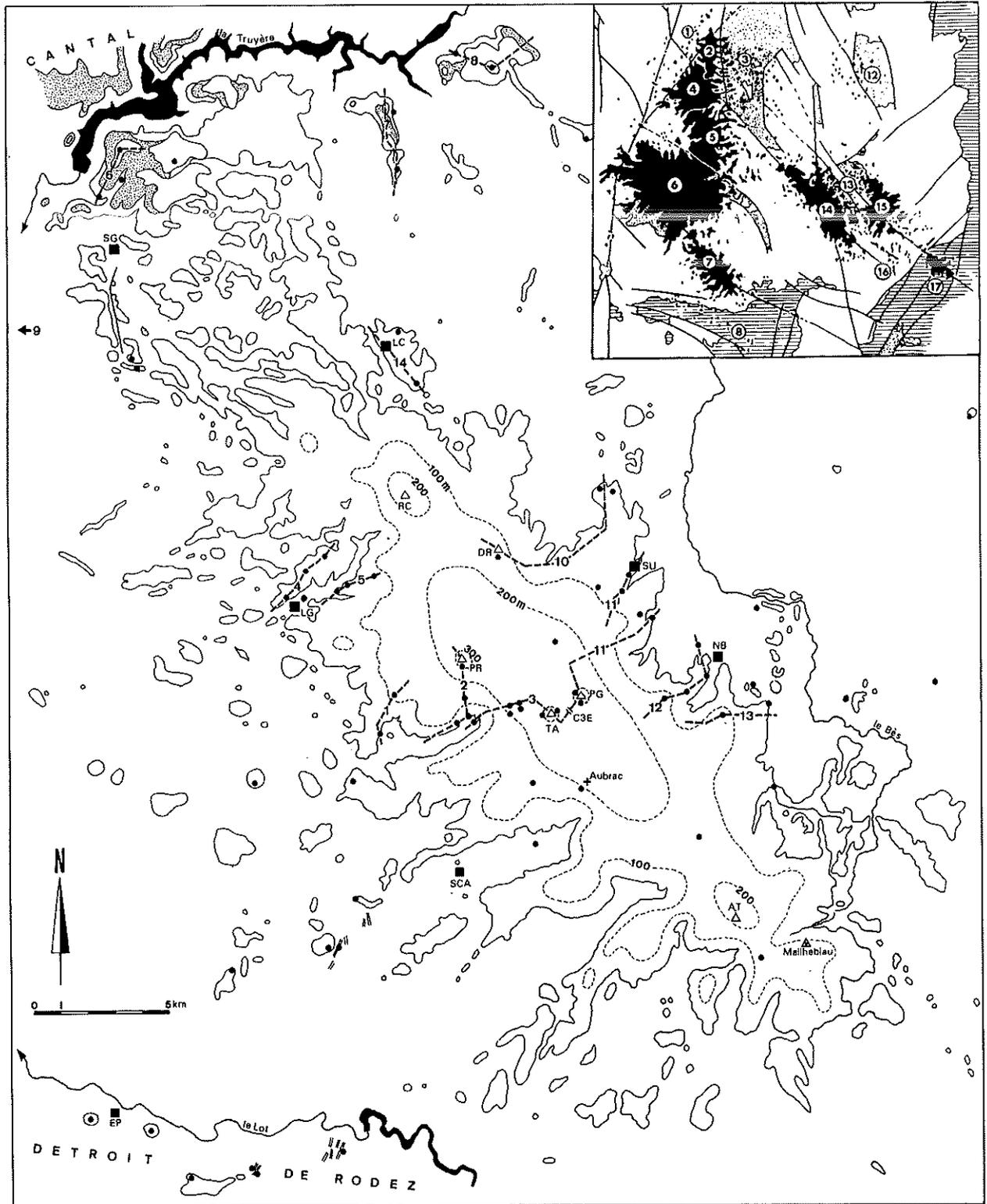


Fig. 1. - Carte d'ensemble du plateau basaltique de l'Aubrac. Localisation des échantillons datés (voir aussi fig. 6), et des coupes synthétiques de référence (n° 1 à 14, fig. 7 et 8). Courbes isopaques des formations volcaniques (épaisseur en mètres). En pointillé : lahars cantaliens. Localités : SG - Sainte-Geneviève-sur-Argence. LC - Lacalm. LG - Laguiole. SU - Saint-Urcize. NB - Nasbinals. A - Aubrac. SCA - Saint-Chély-d'Aubrac. EP - Espalion. Principaux sommets : RC - Roc de Cayla. DR - le Drelier. PR - Puech de Roussillon. TA - Truc d'Aubrac. PG - Puy de la Gudette. C3E - Col de la Croix-des-Trois-Évêques. AT - Puech d'Alte-Teste.

En encart : situation de l'Aubrac (7) dans le volcanisme du Massif central. 4-Monts Dore, 5-Cézalier, 6-Cantal, 8-Causse, 14-Devès, 15-Velay, 17-Coirons.

Fig. 1. - Overall map of Aubrac basaltic plateau. Location of the dated samples (see also fig. 6), and of the synthetic reference cross-sections (n° 1 to 14, fig. 7 and 8). Isopachs of volcanics (thickness in meters). Dotted areas: debris flows from Cantal. Insert: situation of Aubrac (7) within the volcanism of Massif central.

## Introduction

Le plateau basaltique de l'Aubrac, d'une superficie de 450 km<sup>2</sup> environ, est allongé selon une direction N 135 au sud du Cantal, entre les vallées de la Truyère au nord, du Lot au sud et du Bès à l'est (fig. 1). Vers le sud, il est prolongé par un ensemble de pointements dispersés jusqu'au Déroit de Rodez et au Causse de Séverac. Vers le nord, la transition paraît continue avec les formations volcaniques du Cantal, qui se sont étalées 5 km au-delà de l'actuelle gorge de la Truyère. Son altitude moyenne croît régulièrement du nord-ouest — 800 m aux abords de la Truyère — vers le sud-est — où elle culmine à 1 470 m au Signal de Mailhebiau. Une dissymétrie structurale importante apparaît de part et d'autre de son axe. Sur sa façade nord-est il est relativement mince, et ne domine que de très peu le plateau granitique de la Margeride, sur lequel ses contours sont peu indentés. Du côté sud-ouest au contraire, il est découpé en lobes allongés transversalement, où s'empilent de nombreuses coulées, par les profondes vallées des « boraldes » en forte pente vers le Lot.

La présence d'un accident axial profond, supposé par F. Colin (1966), n'a pas été confirmée par les études géophysiques. Par ailleurs, F. Colin a établi que 80 % des basaltes de l'Aubrac présentent une aimantation thermorémanente inverse. L'interprétation du levé aéromagnétique (INAG - BRGM 1975) conduit J. Roux et G. Senaud (1978) à conclure que la totalité de l'anomalie négative observée est imputable au seul volume des laves exprimées, sous lesquelles la surface du socle s'abaisse en pente douce d'est en ouest, de 1 200 à 850 m environ. Les basaltes moulent une paléotopographie diversifiée dont la dissymétrie préexistait au volcanisme.

## Volume des laves et dynamisme éruptif

La reconstitution de la topographie infravolcanique permet une évaluation du volume des produits éruptifs. En ne prenant en compte que ce que l'érosion a laissé subsister, les laves couvrent une superficie de 450 km<sup>2</sup>. Dans les régions externes la couverture basaltique est mince et discontinue, et c'est seulement sur 250 km<sup>2</sup> environ que son épaisseur peut atteindre une centaine de mètres (fig. 1). Cette épaisseur n'excède 200 m que selon une étroite bande axiale s'étendant du Roc de Cayla au Puech d'Alte Teste, pour avoisiner 300 m dans la région centrale sous le Puech de Roussillon, le Truc d'Aubrac et le Puy de la Gudette. Le volume ainsi estimé n'excède pas 40 km<sup>3</sup>, valeur en accord avec l'évaluation de R. Brousse (1971). En admettant que l'érosion en ait enlevé un tiers, le volume initial aurait pu atteindre 60 km<sup>3</sup>, ce qui reste très faible en regard de la superficie couverte.

Les émissions ne sont pas l'apanage de l'échine axiale, le long de laquelle ont pu se concentrer les fissures principales selon une sorte de « rift-zone » non décelable à l'affleurement. Mais d'autres voies d'alimentation sont observables sur toute la surface du plateau et le socle périphérique (Goër de Herve, 1980). Si un dynamisme très effusif semble avoir été localement

prépondérant, une activité pyroclastique « strombolienne » est attestée dans la région haute par la présence de nombreux cônes de scories démantelés (Lécuyer, 1984). Les produits phréatomagmatiques ne sont pas exceptionnels, et certains maars ont atteint des dimensions importantes. Compte tenu des analogies dynamiques et structurales, on peut supposer que la morphologie initiale de l'Aubrac n'a guère dû différer de celle du Devès (Boivin, 1982).

## Caractères magmatiques

M. Boule (1904) distinguait en Aubrac trois ensembles successifs :

- les « basaltes inférieurs compacts », aphyriques mais riches en olivine microscopique, les plus abondants ;
- les « andésites augitiques », plus claires et très feldspathiques, localisées dans le centre du massif ;
- les « basaltes supérieurs porphyroïdes », riches en phénocristaux, formant les plateaux les plus élevés.

Les premières analyses chimiques (Jérémine, 1926) montrent que les laves « sombres inférieures » et « claires intermédiaires » sont chimiquement très voisines. F. Colin (1966) confirme la remarque précédente, et conclut qu'« aucune relation absolue n'apparaît entre les caractères texturaux, microscopiques ou moudaux les plus importants et la position des basaltes dans le diagramme chimique R/Si ». Il constate par ailleurs que le degré de différenciation des laves est indépendant de leur succession chronologique déduite de ses observations de terrain. Réutilisant les analyses de F. Colin, R. Brousse (1971) prend l'Aubrac comme « province-type » caractérisée par une série peu différenciée basalte alcalin-téphrite, que l'indice de solidification de Kuno lui permet de subdiviser en cinq classes.

L'étude pétrologique de ce volcanisme a été reprise par l'un d'entre nous (Makhoul, thèse en cours) à partir d'un échantillonnage effectué dans le cadre du lever de la carte géologique à 1/50 000 (feuilles Chaudes-Aigues, Entraygues et Nasbinals). Les données géochimiques nouvelles sont brièvement présentées ci-dessous (fig. 2 à 5), et seront développées ultérieurement. Elles confirment le faible taux de différenciation de la série aubraccienne. La teneur en SiO<sub>2</sub> varie de 42 à 52 %, le nombre [Mg] de 68 à 45, et l'indice de différenciation de 19 à 55. Les termes les plus évolués sont représentés par quelques mugéarites aphyriques, montrant en lame mince de rares microphénocristaux d'olivine et d'apatite.

Les laves se répartissent selon deux tendances. La principale est sous-saturée en silice, moyennement alcaline et majoritairement sodique (basanites et basaltes alcalins, hawaïtes, mugéarites). Elle comporte aussi des termes potassiques (basanites potassiques et trachybasaltes). Lorsque ces caractères s'accroissent, on passe à des laves fortement alcalines et plus franchement sous-saturées (basanites alumineuses et téphrites). La seconde tendance est représentée par des basaltes peu sous-saturés à saturés, modérément alcalins à subalcalins (basaltes « transitionnels », à hyper-

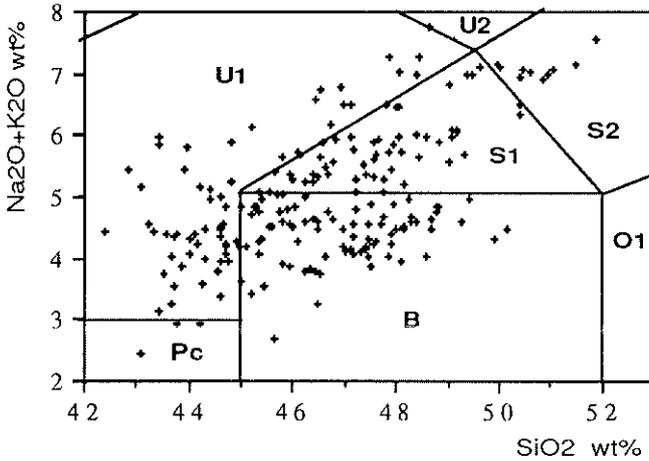


Fig. 2. - Laves de l'Aubrac : situation dans le diagramme TAS (Le Bas *et al.*, 1986). U1 - basanite et téphrite. S1 - hawaïite et trachybasalte. S2 - mugéarite. Pc - picrite. B - basalte alcalin et subalcalin.

Fig. 2. - Aubrac lavas: situation in the TAS diagram (Le Bas *et al.*, 1986).

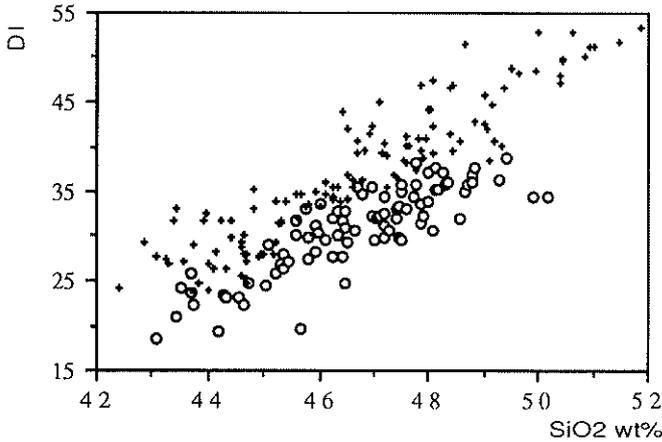


Fig. 3. - Laves de l'Aubrac : diagramme DI/SiO<sub>2</sub>. Croix : laves moyennement à fortement alcalines (basaltes de la « série sous-saturée »). Cercles : laves modérément alcalines à subalcalines (basaltes de la « série saturée »).

Fig. 3. - Aubrac lavas: DI/SiO<sub>2</sub> diagram.

sthène normatif. On décèle donc potentiellement parmi les basaltes de l'Aubrac les deux « séries » magmatiques présentes dans l'ensemble du volcanisme cénozoïque du Massif central : la série dite « sous-saturée » dont la différenciation conduit aux phonolites, et la série dite « saturée » engendrant des trachytes et rhyolites. On doit noter que les termes fortement alcalins sont très minoritaires en Aubrac, alors qu'ils sont fréquents plus au nord sur les planèzes du Cantal — où les néphélinites sont présentes.

Les termes intermédiaires (téphrites, hawaïites, mugéarites) se répartissent à peu près sur l'ensemble de l'aire volcanisée, et ne semblent pas proportionnellement occuper un volume plus important dans la région axiale. Il en est de même des termes cumulatifs : s'ils occupent souvent une position terminale sur de nombreux appareils, cette situation n'est nullement exclusive. L'absence de différenciation poussée des magmas

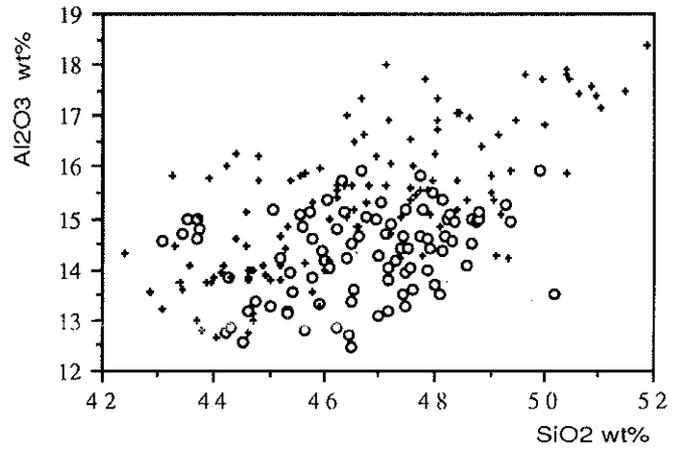


Fig. 4. - Laves de l'Aubrac : diagramme Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>.

Fig. 4. - Aubrac lavas: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> diagram.

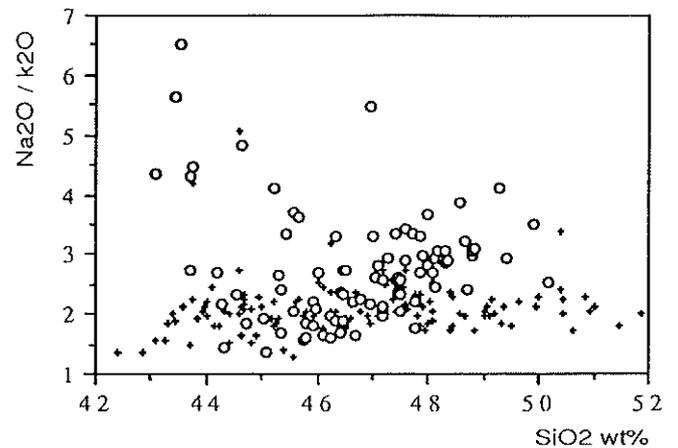


Fig. 5. - Laves de l'Aubrac : diagramme Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>.

Fig. 5. - Aubrac lavas: Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> diagram.

confirme l'absence de réservoir crustal de volume notable montrée par les études géophysiques. Les successions observées sur le terrain, confirmées par l'étude géochronologique, montrent que le fonctionnement de l'Aubrac a été de type récurrent.

## Résultats chronologiques

### A. Données antérieures

L'âge des basaltes de l'Aubrac est resté longtemps controversé. M. Boule (1904), sur la foi d'analogies pétrographiques et topographiques avec le Velay et les Coirons, leur attribue un âge miocène supérieur et pliocène inférieur. Une première étude de la flore de quelques gisements de cinérites permettait à Lauby (1910) de faire débuter les éruptions à l'Aquitanién, mais sa révision conduit P. Marty (1931) à la ramener au Pontien. J. Jung (1946) étale les éruptions du Pontien au Villafranchien. Pour les tenants d'une chronologie longue, l'Aubrac serait contemporain de la totalité

du stratovolcan cantalien. F. Colin (1966), menant de front l'étude palynologique des cinérites et l'analyse paléomagnétique des basaltes — qui montrent une succession inverse (majoritaire) - normale-inverse, conclut à une chronologie courte, de l'ordre de 0,7 Ma, totalement incluse dans le Villafranchien terminal.

Les premières données radiochronologiques K-Ar (Bellon *in* Pesme, 1974 ; Baubron et Demange, 1982) replacent le volcanisme de l'Aubrac dans le Miocène supérieur. Pris isolément, les âges obtenus s'étalent de 10,3 à 6,0 Ma. Mais, considérées globalement, les données analytiques s'alignent sur deux isochrones : l'une, majoritaire, à  $7,6 \pm 0,1$  Ma ; l'autre, subordonnée, à  $5,8 \pm 0,2$  Ma. Des valeurs comparables sont obtenues plus au sud pour des basaltes du Causse de Séverac et du Déroit de Rodez. G. Féraud (1981) obtient des valeurs analogues (8 à 6,3 Ma) dans son étude des dykes marqueurs de paléocontraintes (tabl. I).

## B. Données nouvelles

De nouveaux prélèvements ont été effectués, pour l'essentiel sur les coulées, ainsi que sur quelques dykes, en fonction de la nature des laves et de leur position sur des coupes de référence, permettant des mesures intercontrôlées à partir du nouveau levé cartographique. Leur localisation est donnée sur la carte figure 6 et dans les tableaux II et III. Les techniques analytiques utilisées ont été décrites antérieurement

(Cantagrel et Baubron, 1983). Les mesures ont été effectuées, soit au Laboratoire du BRGM à Orléans, soit dans celui de l'URA 10 du CNRS à Clermont-Ferrand. Les résultats analytiques correspondants sont reportés dans les tableaux II et III.

### 1. Confrontation des résultats avec les successions observées sur le terrain

Les figures 7 et 8 présentent schématiquement les relations stratigraphiques entre les laves datées sur 14 coupes synthétiques localisées en figure 1. En dépit de ce caractère schématique, les coupes 3 et 11, mises bout à bout, fournissent une image transversale représentative de l'Aubrac passant par son centre géométrique (col de la Croix des Trois-Èvêques).

a) *Retombée sud-ouest de la région centrale* (coupes n<sup>os</sup> 1-2-3). Un faible hiatus chronologique apparaît entre la coulée basale de Linars ( $8,3 \pm 0,8$  Ma) et le lac de lave sommital du Peuch de Roussillon ( $6,9 \pm 0,15$  Ma). Entre ces deux extrêmes, tous les âges mesurés sont compris entre 7,9 et 7,1 Ma. Compte tenu des marges d'erreur analytique il n'est pas possible d'établir une chronologie plus fine au sein de ces empièvements. Un âge plus ancien ( $10,0 \pm 1,0$  Ma) mesuré sur une grosse lame intrusive recoupant le lac de lave terminal du Truc d'Aubrac ( $7,3 \pm 0,6$  Ma - coupe 12) paraît dans ce contexte trop élevé ; ceci peut être lié à un léger excès d'argon que l'on rencontre parfois dans les dykes.

n°éch.	Provenance	Gisement	Age (Ma)	Référence
VC 19	VC - Gabriac	coulée n° 1	$29,8 \pm 3,0$	H. Bellon, in Bellon et al. 1972
VC 22	VC - Gabriac	coulée n° 4	$8,2 \pm 1,0$	H. Bellon, in Pesme 1974
VC 24	VC - Espinasse	coulée n° 3	$4,3 \pm 0,6$	id.
VC 30	VC - Cantoinet	lac de lave	$3,9 \pm 0,3$	id.
RA 1	ES - La Bastide d'Aubrac	neck	$8,4 \pm 0,4$	H. Bellon et C. Rousset, inédit
RA 2	ES - Razals	coulée	$10,0 \pm 0,5$	id.
RA 3	ES - Salgues (village)	coulée	$5,9 \pm 0,3$	id.
RA 4	ES - Le Mas-Mendès	filon	$6,5 \pm 0,3$	id.
RA 6	ES - Roquelaure	filon	$8,7 \pm 0,4$	id.
RA 6'	ES - Roquelaure	filon	$8,5 \pm 0,4$	id.
RA 7	ES - Fraisse	bloc dans conglomérat	$7,7 \pm 0,4$	id.
RA 10	ES - Lagarde-Briouèns	lac de lave	$7,6 \pm 0,4$	id.
RA 11	ES - Peuch de Combres	lac de lave	$9,5 \pm 0,5$	id.
RA 15	ES - Lasbros	coulée	$8,9 \pm 0,5$	id.
ESP 1	ES - Peuch de Vermus	neck	$7,4 \pm 0,2$	Baubron et Demange, 1982
ESP 2	ES - Calmont d'Olt	neck	$6,2 \pm 0,6$	J.C. Baubron, inédit
AB 1	ES - Salgues	intrusion	$6,8 \pm 0,1$	G. Féraud, 1981
AB 2	NB - Le Baulès	(bloc erratique)	$6,3 \pm 0,1$	id.
AB 3	NB - Baboyères	(bloc erratique)	$6,35 \pm 0,1$	id.
AB 4	NB - env. Truc d'Aubrac	filon	$8,1 \pm 0,1$	id.
AB 5	SG - env. Mailhebiau	filon	$7,8 \pm 0,1$	id.
AB 6	NB - env. Truc d'Aubrac	filon	$8,05 \pm 0,1$	id.

Tabl. I. - Ages K/Ar des basaltes de l'Aubrac. Données antérieurement publiées (autres que celles reportées dans le tableau II) et résultats inédits (avec l'autorisation des auteurs). Provenance, cartes 1/50 000 : VC - Vic-sur-Cère, ES - Espalion, NB - Nasbinals, SG - St-Geniez-d'Olt.

Table I. - K/Ar ages of the Aubrac basalts. Previous data (other than referred to Table II), and unpublished results.

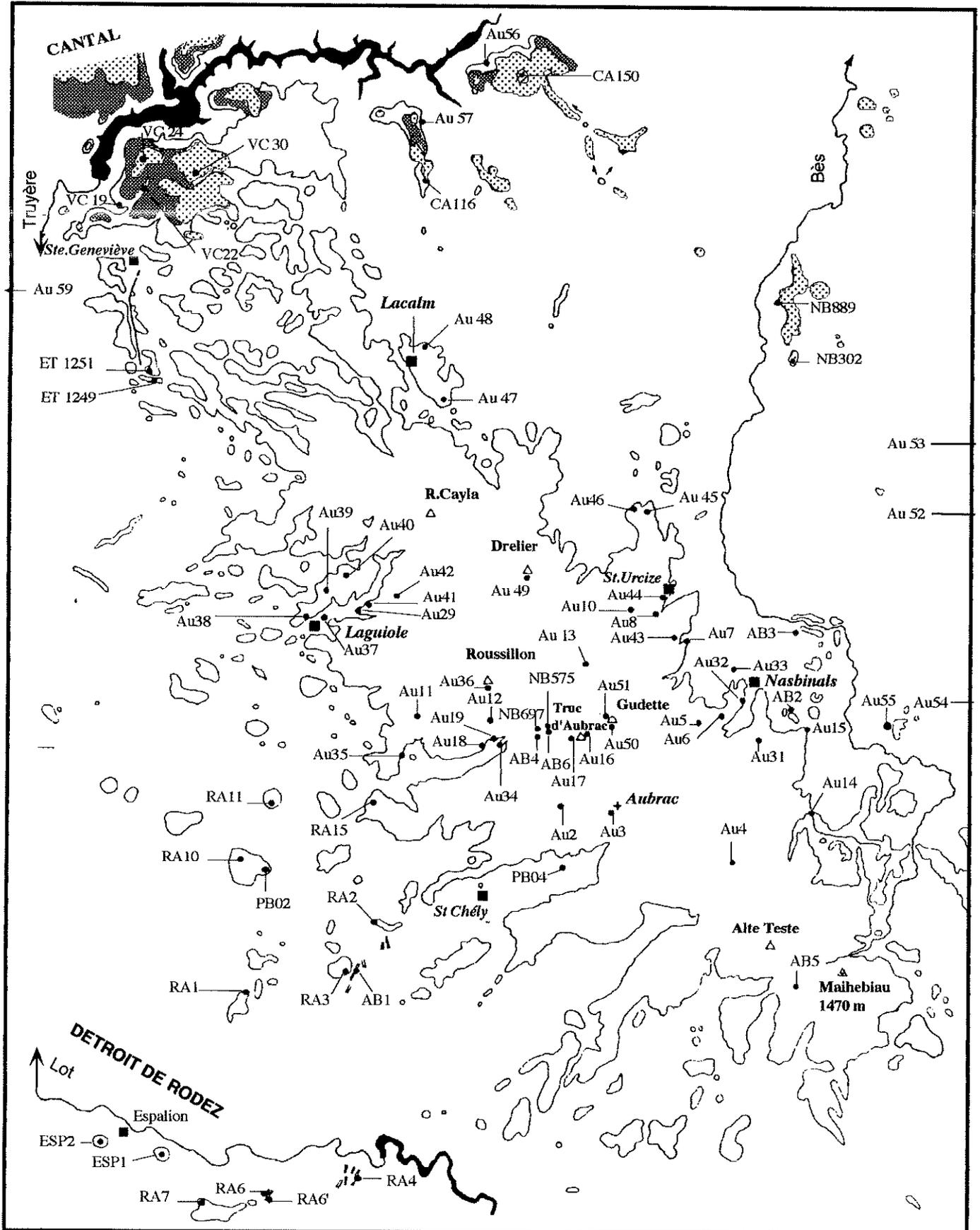


Fig. 6. - Carte d'ensemble du plateau basaltique de l'Aubrac. Localisation des échantillons datés (les numéros renvoient aux tableaux I, II et III). En grisé : lahars cantaliens. En pointillé : basaltes supra-cantaliens et assimilés.

Fig. 6. - Overall map of Aubrac basaltic plateau. Location of the dated samples (numbers related with tables I, II and III). Shaded areas: debris flows Cantal. Dotted areas: upper basaltic flows from Cantal and equivalent.

n°éch.	Provenance	Gisement	X-long.	Y-lat.	Z-alt. (m)	Nature de la lave	K%	Ar*40 (10 <sup>-11</sup> mole)	Atm. %	Age (Ma)
Au 2	SG-Croix du Triadou	coulée	649,05	257,65	1244	Basalte transit.	1,57	2,09	12,9	7,70±0,20
Au 3	SG-CD 533 S d'Aubrac	coulée	651,7	257,7	1280	Basalte transit.	1,09	1,16	42,0	6,10±0,20
Au 4	SG-CD 219 Cammejane	coulée	654,8	256,3	1345	Hawaïite	1,98	2,05	35,2	6,00±0,20
Au 5	NB-Fer à cheval (sommets)	lac de lave	654,0	262,2	1320	Hawaïite	1,30	1,72	22,7	7,60±0,20
Au 6	NB-CD 987 Les Gourgues	coulée	655,0	261,4	1260	Basalte transit.	0,96	1,32	39,3	7,90±0,20
Au 7	NB-Les Salces	coulée	654,35	264,5	1125	Basanite	1,14	1,70	48,4	8,60±0,30
Au 8	NB-carr.Ourtals-St Urcize	coulée	652,5	265,8	1145	Trachybasalte	1,48	2,66	79,1	10,30±0,60
Au 10	NB-Panouval-Bas	coulée	651,85	265,8	1175	Basanite	1,22	1,82	48,4	8,60±0,30
Au 11	NB-Carr.P. de la Rode	lac de lave	643,8	261,45	1120	Basalte alc.	0,88	1,17	31,3	7,60±0,20
Au 12	NB-CD164 Roquette-Bonneval	coulée	647,0	261,4	1250	Basalte alc.	1,23	1,69	28,3	7,90±0,20
Au 13	NB-CD 13 Pas de Mathieu	coulée	649,75	263,2	1325	Basalte alc.	0,76	1,02	36,9	7,70±0,20
Au 14	SG-CD 52 Pont des Nègres	coulée	658,2	258,3	1225	Basalte alc.	1,46	1,82	72,7	7,20±0,40
Au 15	NB-carr. de Montgrousset	coulée	658,2	261,4	1190	Trachybasalte	1,87	2,10	78,7	6,50±0,40
Au 16	NB-Truc d'Aubrac (sommets)	lac de lave	649,6	260,4	1440	Basalte alc.	0,72	0,91	54,3	7,20±0,70
Au 16	id.	"	"	"	"	"	0,72	0,92	54,3	7,40±0,70
Au 17	NB-Truc d'Aubrac (côté SW)	filon	649,5	260,35	1420	Basalte transit.	0,81	1,37	42,7	9,70±1,0
Au 17	id.	"	"	"	"	"	0,81	1,47	40,5	10,40±1,0
Au 18	NB-Cascade du Deveze	coulée	646,55	260,45	1080	Basanite	1,38	1,84	39,2	7,70±0,80
Au 18	id.	"	"	"	"	"	1,38	1,89	36,3	7,80±0,80
Au 19	NB-Vallée de Ménépeyre	coulée	646,85	260,35	1110	Hawaïite	0,67	0,84	51,4	7,20±0,70
Au 19	id.	"	"	"	"	"	0,67	0,94	52,7	8,10±0,80
Au 29	ET-Carr.Rataboul-Laguiole	coulée	641,55	265,45	1025	Basalte alc.	1,41	1,76	41,4	7,10±0,70
Au 31	NB-La Barthas (sommets)	coulée	656,5	260,45	1303	Hawaïite	1,00	1,34	42,6	7,70±0,80
Au 31	id.	"	"	"	"	"	1,00	1,40	40,5	7,10±0,70
Au 33	NB-N.D. de la Sentinelle	lac de lave	655,3	263,45	1260	Basanite	1,32	1,21	49,1	5,30±0,50
Au 33	id.	"	"	"	"	"	1,32	1,35	43,7	5,90±0,60
Au 33	id.	"	"	"	"	"	1,32	1,45	24,2	6,30±0,30
Au 35	SG-Linars	coulée	643,05	260,0	985	Basalte alc.	0,68	0,98	58,2	8,30±0,80
Au 35	id.	"	"	"	"	"	0,68	0,98	69,8	8,30±1,6
Au 37	ET-Eglise de Laguiole	neck	640,1	265,2	990	Hawaïite	1,57	2,12	34,5	7,80±0,80
Au 37	id.	"	"	"	"	"	1,57	2,21	47,1	8,10±0,80
Au 39	ET-P.de la Pendule (sommets)	culot cratér.	640,8	266,25	1080	Haw./Mugéar.	1,57	2,14	33,6	7,80±0,80
Au 39	id.	"	"	"	"	"	1,57	2,14	35,4	7,80±0,80
40	ET-Roc de Mounet	dyke	640,9	267,0	1060	Basalte alc.	0,77	0,87	60,4	6,50±1,30
Au 40	id.	"	"	"	"	"	0,77	1,04	58,6	7,80±0,8
Au 41	ET-près Rocagel	intrusion	641,9	265,7	1040	Basalte alc.	1,28	1,74	39,5	7,80±0,80
Au 41	id.	"	"	"	"	"	1,28	1,77	42,2	7,90±0,80
Au 43	NB-plateau Recoules d'Aubrac	coulée	653,3	264,9	1190	Basalte transit.	0,93	1,22	44,8	7,50±0,75
Au 43	id.	"	"	"	"	"	0,93	1,23	46,7	7,90±0,80
Au 44	NB-CD813 sous St Urcize	coulée	652,9	266,15	1090	Téphrite	1,33	2,67	81,1	11,50±3,45
Au 45	NB-Montelmas	coulée	652,05	269,2	1165	Basalte alc.	1,38	2,12	69,9	8,80±1780
Au 45	id.	"	"	"	"	"	1,38	2,18	71,3	9,10±1,80
Au 47	NB-Les Plos de Lacalm	coulée	644,6	273,3	1160	Basalte alc.	1,14	1,53	40,2	7,70±0,80
Au 47	id.	"	"	"	"	"	1,14	1,53	39,5	7,70±0,80
Au 49	NB-buron du Drelier	lac de lave	647,5	267,15	1340	Mugéarite	1,99	2,58	27,6	7,50±0,40
Au 49	id.	"	"	"	"	"	1,99	2,62	26,3	7,60±0,40
Au 49	id.	"	"	"	"	"	1,99	2,66	75,5	7,70±1,50
Au 50	NB-P. de la Gudette (sommets)	culot cratér.	650,8	261,25	1427	Basalte alc.	1,16	1,55	41,8	7,70±0,80
Au 50	id.	"	"	"	"	"	1,16	1,56	42,9	7,80±0,80
Au 51	NB-P. de la Gudette (intr.N)	intrusion	650,8	261,3	1410	Basalte alc.	1,27	1,71	39,4	7,80±0,80
Au 51	id.	"	"	"	"	"	1,27	1,74	39,5	7,90±0,80
Au 53	NB-P. de Montivernoux	lac de lave	664,95	272,0	1270	Basanite téphr.	1,67	0,83	65,7	2,90±0,60
Au 53	id.	"	"	"	"	"	1,67	0,95	67,6	3,30±0,70
Au 53	id.	"	"	"	"	"	1,67	1,07	67,2	3,70±0,70
Au 55	Nb-Rocher de Marchastel	neck	661,25	261,5	1266	Basalte alc.	1,46	1,78	45,4	7,00±0,70
Au 55	id.	"	"	"	"	"	1,46	1,79	44,0	7,10±0,70
Au 55	id.	"	"	"	"	"	1,46	1,88	72,5	7,40±1,50
Au 57	CA-750m E La Sauvetat	coulée	643,5	283,75	950	Basalte alc.	1,16	1,66	58,0	8,30±0,80
Au 57	id.	"	"	"	"	"	1,16	1,85	62,6	9,10±0,90
Au 58	VC-Gabriac	coulée n°1	632,65	280,35	750	Basanite	1,37	2,56	82,5	10,70±3,20
Au 58	id.	"	"	"	"	"	1,37	2,81	82,2	11,70±3,50
Au 59	ET-Cimetière de Bars	coulée	626,2	275,5	720	Basalte alc.	1,59	1,96	36,8	7,10±0,70
Au 59	id.	"	"	"	"	"	1,59	1,98	38,6	7,20±0,70

Tabl. II. - Ages K/Ar des laves de l'Aubrac. Localisation des échantillons et données analytiques. Mesures effectuées par J.C. Baubron et E. Béchu - BRGM, Service Géologique National, Orléans. Éch. Au 2 à Au 15 : données antérieures (Baubron et Demange, 1982). Éch. Au 16 à Au 59 : données nouvelles. Coord. X et Y : quadrillage kilom. Lambert zone III. Provenance, cartes 1/50 000 : VC - Vic-sur-Cère, CA - Chaudes-Aigues, ET - Entraygues-sur-Truyère, NB - Nasbinals, ES - Espalion, SG - St-Geniez-d'Olt.

Table II. - K/Ar ages of Aubrac lavas. Location of samples and analytic data. J.C. Baubron and E. Bechu, BRGM-SGN Orléans. Au 2 to Au 15 : previous data (Baubron & Demange, 1982). Au 16 to Au 59: new data.



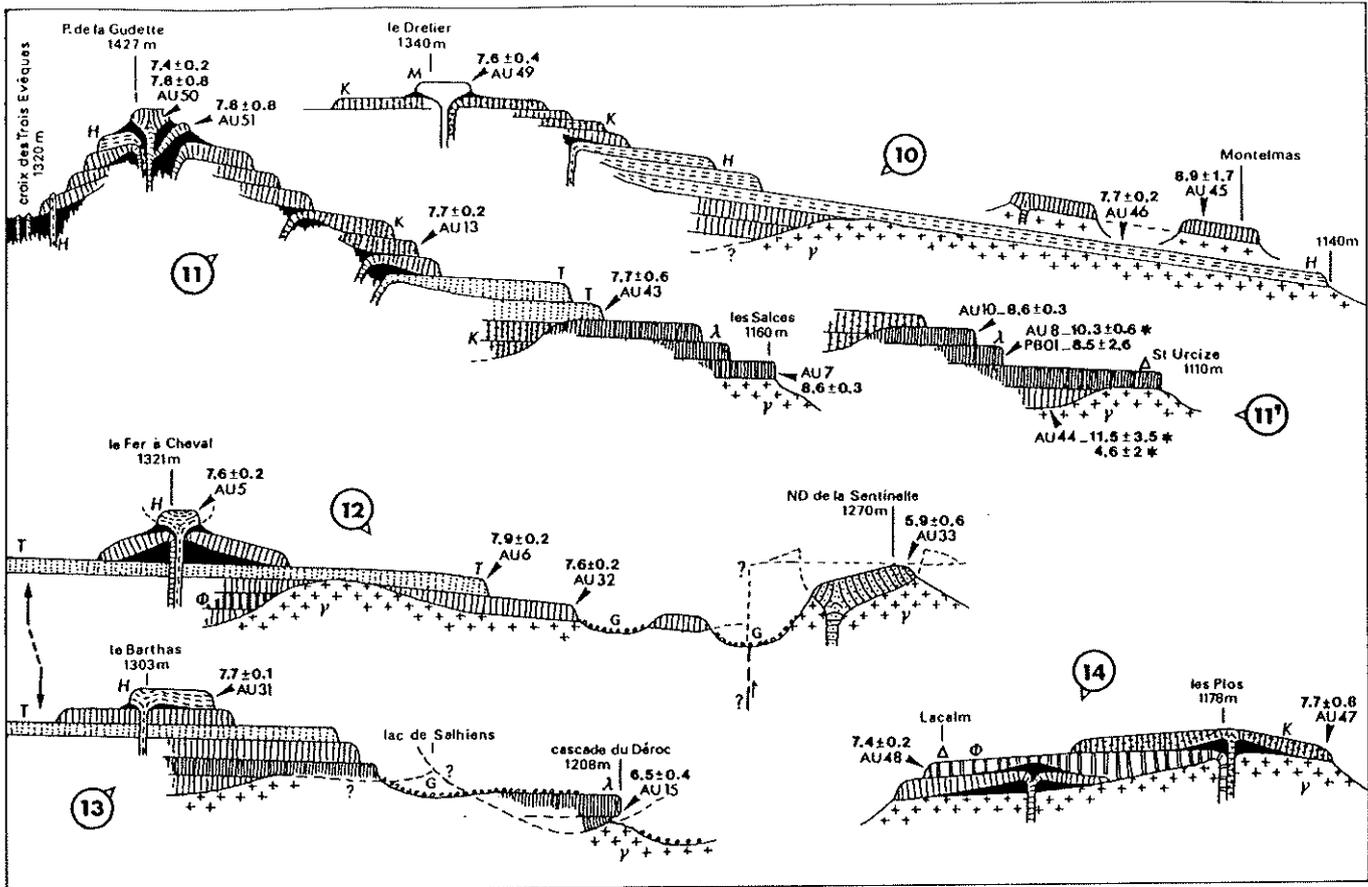


Fig. 8. - Situation relative des laves datées (suite) : versant nord-est et environs de Nasbinals (feuille Nasbinals). 10 - du Drelier à Montelmas. 11 et 11' - de la Gudette aux Salces et à St-Urcize. 12 - Nasbinals SW : du Fer à Cheval à la Sentinelle. 13 - Nasbinals SE : du Barthas au Déroc. 14 - plateau de Lacalm. Voir légende figure 7.

Fig. 8. - Relative position of dated lavas (continued): north-eastern slope and Nasbinals surroundings.

n°éch.	Provenance	Gisement	X-long.	Y-lat.	Z-alt. (m)	Nature de la lave	n° analyse	K%	Ar*40 (10 <sup>-11</sup> mole)	Atm. %	Age (Ma)
Au 31	NB-Le Barthas	coulée	656,5	260,45	1303	Hawaïite	R 12081	1,05	1,38	40,4	7,60±0,15
Au 32	NB-Grange de Gizard	coulée	655,7	262,2	1210	Basanite	R 12082	1,48	1,92	32,7	7,50±0,15
Au 34	NB-ruiss. de Ménepeyre	coulée	647,15	260,45	1100	Basanite	R 12083	1,18	1,43	70,5	7,00±0,20
Au 36	NB-P. de Roussillon (somm.)	lac de lave	646,65	262,95	1400	Basanite	R 12084	1,05	1,25	57,7	6,90±0,15
Au 38	ET-CD 541 Oustrac	coulée	639,7	265,1	950	Hawaïite	R 12085	1,97	2,70	32,6	7,90±0,15
Au 40	ET-Roc de Mounet	dyke	640,9	267,0	1060	Basalte alc.	R 12086	0,75	0,93	63,8	7,20±0,20
Au 42	ET/NB-Moulhac	dyke	642,9	266,0	1120	Hawaïite dolér.	R 12087	1,60	1,78	62,9	6,40±0,15
AU 45	NB-Montelmas	coulée	652,05	269,2	1165	Basalte alc.	R 12089	1,39	1,88	79,5	7,80±0,35
Au 46	NB-Pont de Grezettes	coulée	651,0	269,3	1125	Hawaïite	R 12090	1,33	1,76	38,4	7,6±0,15
Au 48	NB-Lacalm	coulée	643,75	275,2	1120	Haw./Téphr.	R 12091	1,48	1,87	35,2	7,30±0,15
Au 50	NB-P.de la Gudette (somm.)	culot cratér.	650,8	261,25	1427	Basalte alc.	R 12092	1,17	1,47	37,7	7,30±0,15
Au 52	NB-carr. des Chirouzes	coulées	651,0	269,3	1185	Basanite	R 12093	1,74	1,24	65,8	4,10±0,10
Au 54	Nb-Truc du Coucut	neck	664,55	262,4	1286	Hawaïite	R 12094	1,46	1,73	49,5	6,90±0,15
Au 56	CA-rav.Croupelle(Espinasse)	coulée	645,9	285,5	925	Téphrite	R 12095	1,55	1,89	92,9	7,10±1,00
Au 58	VC-Gabriac	coulée n°1	632,65	280,35	750	Basanite	R 12096	1,34	0,99	95,3	4,30±0,90
ET 881	ET-carr.Rataboul-Laguiolle	coulée	641,55	265,45	1025	Basalte alc.	R 12871	1,36	1,79	35,5	7,60±0,15
NB575	NB-ruiss. de Ménepeyre	filon	647,9	260,75	1215	Mugéarite	R 12872	2,08	2,69	30,3	7,50±0,15
NB697	NB-ruiss. de Dourtigouse	filon	647,5	261,5	1245	Téphrite	R 12873	1,89	2,49	28,7	7,60±0,15
NB302	NB-Rocher du Cheylaret	lac de lave	657,15	276,1	1128	Basanite	R 12874	1,89	1,97	80,9	6,00±0,30
NB889	NB-Fraissinoux	coulée	656,8	277,6	1100	Basanite	R 12875	1,81	1,50	41,4	4,80±0,10
CA 116	CA-Espayrac	coulée	643,9	281,75	1000	Basanite leucit.	R 12876	1,40	1,07	49,6	4,40±0,10
ET1249	ET-800m W Graissac	coulée	634,2	273,95	910	Basalte alc.	R 12880	1,09	1,28	71,2	6,80±0,20
ET1251	ET-Le Battut	coulée	633,9	274,4	920	Basalte alc.	R 12881	1,21	1,50	34,0	7,10±0,15
CA 150	CA-Mont Mournac (somm.)	lac de lave	647,4	285,15	1040	Basanite leucit.	R 12290	1,64	0,82	54,1	2,90±0,05
PB 01	NB-carr.Ourtals-St-Urcize	coulée	652,5	265,8	1145	Basanite	R 8168	1,02	1,51	94,3	8,50±2,60
PB 02	ES-Lagarde-Briouand	lac de lave	638,15	255,75	780	Trachybasalte	R 8167	1,58	2,34	16,2	8,50±0,20
PB 03	ET-carr.Rataboul-Laguiolle	coulée	641,55	265,45	1025	Basalte alc.	R 8166	1,36	2,15	46,3	9,10±0,30
PB 04	SG-château de Belvezet	neck	648,9	255,95	1144	Trachybasalte	R 8169	1,32	2,11	41,0	9,20±0,30
PB 05	SG-CD533 S d'Aubrac	coulée	651,7	257,7	1280	Basalte transit.	R 8170	1,02	1,37	29,7	7,80±0,20

Tabl. III. - Ages K/Ar des laves de l'Aubrac. Localisation des échantillons et données analytiques. Mesures effectuées par J.M. Cantagrel et C. Jamond, URA 10 CNRS, Clermont-Ferrand. Mêmes légendes que tableau II.

Table III. - K/Ar ages of Aubrac lavas. Location of samples and analytic data. J.M. Cantagrel and C. Jamond, URA 10 CNRS, Clermont-Ferrand. Legend: see Table II.

qu'on pouvait s'attendre à des âges anciens. Le lac de lave de la Sentinelle (Au 33 :  $5,9 \pm 0,1$  Ma) est perché sur un relief granitique dominant les coulées basales du « Fer à Cheval » (coupe 12). S'il s'agit réellement d'un basalte relativement jeune, comparable à ceux d'autres gisements plus septentrionaux, cet âge impliquerait le rehaussement d'un môle granitique postérieurement au volcanisme. Quant à l'âge de  $6,5 \pm 0,4$  Ma de la cascade du Déroc (coupe 13), il est identique à l'âge mesuré par G. Féraud (1981) sur les « intrusions » de la vallée du Bès. Ces « intrusions », décrites par F. Colin (1966), sont en réalité des blocs erratiques essaimés à partir de la coulée du Déroc et d'une de ses voisines. Cette coulée, présumée basale, pourrait être emboîtée en contrebas de l'empilement principal — ce que la continuité de la couverture morainique interdit de vérifier.

d) *Retombée septentrionale*, aux abords de la Truyère (coupes 6 à 9). La vallée de la Truyère, précocement creusée à l'aval de Lanau et manifestant une tendance au remblaiement jusqu'au Pliocène supérieur (Goër de Herve et Burg, 1991), a servi de collecteur à des formations volcaniques issues tant de l'Aubrac que du Cantal, qui l'encadrent. Un horizon stratigraphique repère y est constitué par de puissantes coulées de débris originaires du Cantal. Les basanites très sous-saturées surmontant ces lahars, âgées de moins de 5 Ma, sont à rapporter aux planèzes cantaliennes, et les coulées infralahariques (7 à 8 Ma) aux basaltes de l'Aubrac, de composition semblable.

Près du barrage de Sarrans (coupe 6), quatre coulées s'intercalent entre les argiles oligocènes et le lahar. Elles sont subhorizontales et concordantes sur 70 m d'épaisseur, le toit scoriacé de chacune d'elles étant conservé sous la base de la suivante. Un âge oligocène ( $29,8 \pm 3,0$  Ma) avait été obtenu sur la coulée de base (Bellon *et al.*, 1972) ; de nouveaux prélèvements ont donné des âges très discordants (4 à 11 Ma). De tels écarts, très supérieurs à l'erreur analytique, sont sans doute liés à la structure intime de cette lave. En effet, le prédégazage sous pompage des échantillons effectué avant la mesure (et légèrement différent en température et durée d'un laboratoire à l'autre) peut provoquer un fractionnement isotopique de l'argon atmosphérique, adsorbé soit sur une phase vitreuse interstitielle, soit sur des minéraux secondaires argileux présents dans les microfissures de la roche. En contradiction avec les observations de terrain, un âge aussi élevé ne peut plus être retenu (ceci en accord avec l'auteur de cette ancienne mesure). L'âge de cette coulée ne diffère vraisemblablement pas de celui mesuré sur la quatrième de l'empilement ( $8,2 \pm 1,0$  - H. Bellon, *in* Pesme 1974).

## 2. Age des dykes et filons

Dans la région de Laguiolle (coupes 4 et 5), apparaît un essaim allongé N 135° sur 4,3 km de huit intrusions elliptiques en relief, de composition variée. Il s'agit vraisemblablement d'anciens lacs de lave « en boutonnière », consolidés dans des spatter-remparts ultérieurement dégagés par l'érosion. Les valeurs obtenues ( $7,8 \pm 0,8$  —  $7,3 \pm 0,2$  et  $6,5 \pm 0,15$  Ma) ne diffèrent pas de celles des coulées.

Les environs du Truc d'Aubrac (coupes 2, 3 et 11) sont exceptionnellement riches en filons métriques de 50 à 300 m de long, principalement orientés autour de

N 140°, N 0° et N 35°, la première direction étant nettement majoritaire. Deux d'entre eux, l'un mugéaritique (NB 575), l'autre téphritique (NB 697), ont donné respectivement  $7,45 \pm 0,15$  et  $7,6 \pm 0,15$  Ma.

Tous ces dykes, allongés parallèlement à l'ensemble du massif ou à l'alignement supposé des centres éruptifs, ne correspondent donc pas à un épisode volcanique particulier. Ils sont contemporains des coulées, dont ils représentent sans doute les conduits d'alimentation. Leurs directions privilégiées sont celles qui prédominent dans le socle hercynien : ce sont notamment celles des faisceaux filoniens associés au granite de la Margeride. Les laves auraient donc emprunté d'anciennes fractures, parallèles à la direction de contrainte maximale SE-NW liée au poinçonnement alpin, et réouvertes en régime compressif au Miocène supérieur (Bergerat, 1985).

### Remarque

Les conditions d'affleurement en Aubrac ne permettent pas l'observation d'accidents cassants affectant l'empilement lavique. Un seul accident (faille de Marso, au sud de Sainte-Geneviève), subméridien, dénivelle de 35 m une coulée basaltique âgée de 7 Ma environ. Il pourrait s'agir de la faille bordière occidentale du fossé oligocène de Graissac-Sarrans, qui aurait rejoint postérieurement au volcanisme lors de la surrection pliocène du Massif central.

## Discussions et conclusions

### Brièveté de l'édification de l'Aubrac

A l'exception de quelques âges anciens, sans doute liés à la nature des échantillons, et dont la signification chronologique semble douteuse — notamment lorsqu'elle contredit l'observation géologique — plus de cinquante mesures (données nouvelles et antérieures) sont comprises entre 9 et 6 Ma. Seuls sept échantillons révèlent des âges compris entre 5 et 3 Ma. Tous situés au nord ou au nord-est, en position périphérique, ces basaltes « jeunes » sont contemporains des planèzes cantaliennes ; ainsi le Mont Mournac (coupe 3), âgé de 2,9 Ma, est contemporain du Plomb du Cantal. Ces laves sont très sous-saturées, parfois à leucite, ce qui les différencie de celles de l'Aubrac. Aussi ne seront-elles pas intégrées à la présente discussion, considérant qu'elles appartiennent à une activité volcanique pliocène assez générale dans le Massif central et notamment bien représentée plus au nord dans le Cézaillier (Cantagrel *et al.*, 1987), ou les Monts-Dore (Cantagrel et Baubron, 1983).

Dans l'intervalle 9-6 Ma, nous avons vu que l'on pouvait distinguer une phase ancienne périphérique, vers 8,7 Ma, dans la région de Saint-Urcize, et quelques âges tardifs, vers 6,5 Ma, près de la vallée du Bès. Mais 70 % des valeurs sont comprises entre 8 et 7 Ma. Compte tenu des erreurs analytiques, les âges pris individuellement ne permettent pas d'établir une succession plus fine, ni de distinguer un épisode particulier d'émission des laves les plus évoluées. Sur l'ensemble des coupes présentées, on mesure en fait pratiquement le même âge à la base et au sommet, et ce jusque dans la région centrale où la série atteint 300 m d'épaisseur.

La mise en place de ces laves s'est donc effectuée très rapidement.

Si l'on calcule une valeur moyenne pour ces données, on obtient :  $7,40 \pm 0,20$  Ma pour les mesures effectuées à Clermont, et  $7,61 \pm 0,16$  Ma pour celles réalisées à Orléans. Considérant globalement toutes ces valeurs, on obtient un âge de  $7,52 \pm 0,13$  Ma pour l'épisode volcanique majeur de l'Aubrac (erreur-type à  $2\sigma$  pour 46 mesures, nouvelles ou déjà publiées, effectuées sur des échantillons considérés comme appartenant à cet épisode). On peut en conclure que l'essentiel de l'Aubrac s'est constitué en un temps très court, de l'ordre de 250 000 ans. Une telle durée pourrait même être légèrement surestimée, une certaine dispersion des résultats étant due à un faible biais systématique entre les deux laboratoires.

Cette conclusion est en bon accord avec les données paléomagnétiques montrant 80 % des laves à ATR inverse. La figure 9 résume cette chronologie du volcanisme sur l'Aubrac et sa périphérie. Plutôt que de dessiner un classique histogramme de fréquence des âges, qui n'est qu'un certain reflet de l'échantillonnage analysé, celle-ci présente une estimation du volume de magma émis au cours du temps, soulignant bien l'importance d'un épisode basaltique bref vers 7,5 Ma. Cette phase majeure a été précédée par quelques coulées précoces vers 8,7 Ma, et suivie par de rares émissions tardives jusque vers 6 Ma.

Nous avons vu que l'Aubrac volcanique pouvait représenter initialement un volume maximal de  $60 \text{ km}^3$  de laves. Si l'on admet que 90 % d'entre elles ont été émises en 250 ka, on peut calculer un taux d'émission moyen voisin de  $0,2 \text{ km}^3/\text{ka}$ . Un tel taux éruptif est très inférieur à celui calculé par G. Wadge (1982) pour des volcans très actifs comme l'Etna ( $20 \text{ km}^3/\text{ka}$ ) ou le Piton de la Fournaise ( $10 \text{ km}^3/\text{ka}$ ) à partir de leur seule activité historique. Mais il est comparable au taux moyen ( $0,3 \text{ km}^3/\text{ka}$ ) calculé pour l'île de Tenerife (Canaries) intégré sur plusieurs centaines de milliers d'années (Ancochea *et al.*, 1990). Dans le Massif central français, on peut constater un taux analogue dans la Chaîne des Puys :  $9 \text{ km}^3$  en 60 000 ans, soit  $0,15 \text{ km}^3/\text{ka}$ .

Nous avons également vu que les basaltes de l'Aubrac se sont épanchés sur une topographie diversifiée, et que le basculement du socle était antérieur au volcanisme. On peut donc préciser que celui-ci était déjà très accusé il y a 7,5 Ma.

### L'Aubrac dans le volcanisme du Massif central français

— Dans le prolongement sud de l'Aubrac, J.C. Baubron et J. Demange (1982) avaient déjà souligné la contemporanéité du volcanisme de l'Aubrac et du Cause de Séverac (voir encart fig. 1). Les mesures de P.Y. Gillot (1974), et celles inédites de H. Bellon (communication personnelle) sur la feuille à 1/50 000 Espalion (*cf.* fig. 6 et tabl. I), permettent d'affirmer que l'Aubrac est contemporain de la quasi-totalité des éruptions dispersées sur les Grands Causses au nord de la latitude Saint-Affrique - le Vigan, à l'exception des rares pointements beaucoup plus anciens (Baubron *et al.*, 1978).

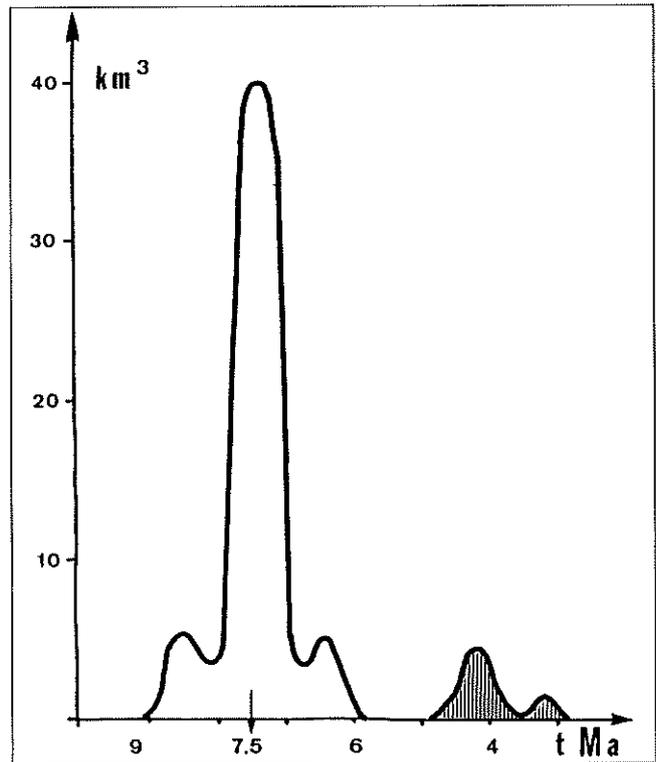


Fig. 9. - Estimation du volume de magma émis en fonction du temps (zone hachurée : volcanisme rapporté aux planèzes cantaliennes).

Fig. 9. - Volume estimation of magma erupted through time (striped area: volcanism related with upper Cantal basalts).

— Du côté nord, plusieurs auteurs avaient suggéré le synchronisme de l'Aubrac et des planèzes cantaliennes. Il apparaît au contraire qu'il est en totalité antérieur à ces basaltes supracantaliens, pour l'essentiel compris entre 5,5 et 4 Ma. Calés vers 7,5 Ma et infra-lahariques aux abords de la Truyère, les basaltes de l'Aubrac sont contemporains d'une des phases trachyandésitiques du stratovolcan cantalien — la troisième et dernière selon le schéma proposé par J.M. Cantagrel (1989).

— Au-delà de ces régions voisines, on peut remarquer que l'intervalle 8-7 Ma est également celui de la deuxième phase phonolitique du Velay (Hodges, 1991). Par contre, si des émissions basaltiques sont enregistrées à la même époque dans les Coirons (Féraud, 1981) le maximum d'activité de cette région est plus récent d'1 Ma (vers 6,5 Ma : Bandet *et al.*, 1974 ; Cantagrel, inédit). Plus au nord enfin, il semble que l'intervalle 8-7 Ma soit une période de grand calme éruptif, hormis quelques coulées précoces du Cézalier (Cantagrel *et al.*, 1987) qui ne connaîtra son activité paroxysmale qu'entre 6 et 4,5 Ma.

### Implications morphologiques

Nombre d'auteurs ont constaté la morphologie très différente des deux plus vastes ensembles basaltiques français, l'Aubrac et le Devès, par ailleurs très comparables sur le plan structural et magmatologique. Ce contraste était diversement expliqué (évolution dynamique différente ou situation géographique différente vis-à-vis des agents de l'érosion lors des périodes

froides) alors qu'un même âge villafranchien était retenu pour l'un et l'autre.

Ainsi que nous l'avons évoqué plus haut, l'explication volcanologique ne résiste pas à l'analyse, la morphologie initiale des deux ensembles ayant dû fort peu différer. Pour ce qui est de l'explication climatique, certes l'Aubrac a connu un englacement quaternaire important, tandis que le Devès (de même que les Coirons) ne connaissait que des actions périglaciaires. Mais une comparaison avec le Cézalier ou les planèzes cantaliennes, régions également très englacées, montre que ce n'est pas là que réside la différence essentielle. L'action érosive d'un ice-cap de plateau, très statique, est d'ailleurs peu efficace, la glace pouvant au contraire y jouer plutôt un rôle protecteur.

## Références

- ANOCHEA E., FUSTER J.M., IBARROLA E., CENDRERO A., COELLO J., HERNAN F., CANTAGREL J.M., JAMOND C. (1990). - Volcanic evolution of the island of Tenerife (Canary Island) in the light of new K-Ar data. *J. Volcanol. Geothermal Research*, **44**, pp. 231-249.
- ARINO T. (1986). - Contribution à la volcanologie et à la pétrologie des basaltes de l'Aubrac (Zone orientale d'Aubrac - Massif central français). DEA Pétrologie, Univ. Clermont-Ferrand, 92 p.
- BANDET Y., DONVILLE B., GOURINARD Y. (1974). - Premières datations K-Ar du Coiron. *C.R. Acad. Sci., Fr., (D)*, **278**, pp. 2869-2874.
- BAUBRON J.C., DEFAUT B., DEMANGE J., MAURY R.C. (1978). - Existence d'un volcanisme anténéogène dans les Causses (MCF). *Résumés scientifiques du SGN, RS n° 627*. BRGM, Orléans.
- BAUBRON J.C., DEMANGE J. (1982). - First geochronological study of the volcanic plateau of Aubrac (french Massif central). Tectonic and regional implications. *J. Volcanol. Geothermal Research*, **14**, pp. 67-75.
- BELLON H., BROUSSE R., LAMBERT A., CORNEN G., LE GARREC M.J., MAURY R., PESME M.F., BLAIS S., LARROQUE P., BAUDEIGNE L. (1972). - Longue activité du massif du Cantal, de 21 à 3,8 Ma. *C.R. Acad. Sci., Fr., (D)*, **274**, pp. 2409-2412.
- BERGERAT F. (1985). - Déformations cassantes et champs de contrainte tertiaires dans la plateforme européenne. Thèse État, Univ. Paris 6, 315 p. + 15 pl.
- BOIVIN P. (1982). - Interactions entre magmas basaltiques et manteau supérieur. Arguments apportés par les enclaves basiques des basaltes alcalins. Exemples du Devès (Massif central français) et du volcanisme quaternaire de la région de Carthagène (Espagne). Thèse État, Univ. Clermont-Ferrand, 344 p.
- BOULE M. (1904). - Feuille de Mende. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, **15**, 98, pp. 53-56.
- BOULE M., FABRE G. (1906). - Carte géologique de France à 1/80 000, feuille 196 : Mende, 1<sup>re</sup> éd.
- BROUSSE R. (1971). - Magmatologie du volcanisme néogène et quaternaire du Massif Central, in : Symposium J. Jung : Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif Central Français. Plein Air Service éd., Clermont-Ferrand, pp. 377-478.
- BURG J.P., GOER de HERVE A. de (1991). - Carte géologique de France à 1/50 000, feuille 813 : Chaudes-Aigues, 1<sup>re</sup> éd., Orléans, BRGM.
- CANTAGREL J.M., BAUBRON J.C. (1983). - Chronologie K-Ar des éruptions dans le massif volcanique des Monts-Dore : implications volcanologiques. *Géologie de la France* (2), n° 1-2, pp. 123-142.
- CANTAGREL J.M., SIGMARSSON O., CONDOMINES M., KIEFFER G. (1987). - Chronologie du volcanisme aux environs du forage de Chassole. *Géologie de la France*, n° 4, pp. 157-162 et Mémoire Géologie Profonde de la France, 2, Orléans, BRGM.
- CANTAGREL J.M. (1989). - Debris avalanches and debris flows : is the Cantal volcano a wide pile of ruins ? (Massif Central, France). *E.U.G.V., Terra Abst.*, **1**, 1, p. 284.
- COLIN F. (1966). - Étude géologique du volcanisme basaltique de l'Aubrac (Massif Central Français). Thèse État, Univ. Clermont-Ferrand, 1966 et *Mém. BRGM*, **62**, 1971, 250 p. + 1 carte h.-t.
- FERAUD G. (1981). - Datation des réseaux de dykes et de roches volcaniques sous-marines par les méthodes K-Ar et <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar. Utilisation des dykes comme marqueurs des paléocontraintes. Thèse État, Univ. Nice.
- FOURIS M., CANTAGREL J.M., POIDEVIN J.L., MERGOIL J. (1991). - Le plio-pléistocène du Velay : volcanologie, chronologie K-Ar des gisements fossilifères. Données actuelles, problèmes et hypothèses. In : Datation et caractérisation des milieux pléistocènes. *Cahiers du Quaternaire*, **16**, pp. 401-416.
- GILLOT P.Y. (1974). - Chronométrie par la méthode K-Ar des laves des Causses et du Bas-Languedoc : interprétations. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Orsay, 99 p.
- GOER de HERVE A. de (1980). - L'Aubrac. in : Géologie des Pays Européens : France, Belgique, Luxembourg, Dunod, Paris, pp. 86-87.
- GOER de HERVE A. de, BURG J.P. (1991). - Carte géologique de la France à 1/50 000. Notice explicative de la feuille 813 : Chaudes-Aigues, 1<sup>re</sup> éd. Orléans, BRGM.
- HODGES S. (1991). - Petrogenesis of the phonolitic rocks of the Velay Oriental, France. Ph.D. Univ. Oxford, G.B.
- JEREMINE E. (1926). - Étude pétrographique de quelques roches du massif de l'Aubrac, Aveyron. *C.R. Congrès Sociétés Savantes*, pp. 239-247.
- JUNG J. (1946). - Géologie de l'Auvergne et de ses confins bourbonnais et limousins, *Mém. Serv. Carte géol. Fr.*, 372 p.
- LAUBY A. (1910). - Recherches paléophytologiques dans le Massif Central. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, **20**, 125, 397 p.
- LE BAS M., LE MAITRE R., STRECKEISEN A., ZANETTIN B. (1986). - A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *J. Petrol.*, **27**, 3, pp. 745-750.
- LECUYER F. (1984). - Contribution à la volcanologie et à la pétrologie de l'Aubrac : secteur méridional de Saint-Urcize (Massif Central). D.E.A. Géologie, Univ. Lille, 55 p.
- MARTY P. (1931). - Sur l'âge des plus anciens basaltes de l'Aubrac. *Bull. Soc. géol. Fr.* (5), **1**, pp. 177-188.
- PESME M.F. (1974). - Contribution à l'étude géologique du Cantal méridional et du Nord de l'Aubrac. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Orsay, 180 p.
- ROUSSET C., BECQ-GIRAUDON J.F. (1989). - Carte géologique de la France 1/50 000, feuille 860 : Espalion. Orléans, BRGM.
- ROUX J., SENAUD G. (1978). - Le levé aéromagnétique Massif Central 1975 : étude de quelques anomalies caractéristiques liées au volcanisme et au socle. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Clermont-Ferrand 2, 208 p.
- WADGE G. (1982). - Steady state volcanism: evidence from eruptions history of polygenic volcanoes. *J. geophys. Res.*, **87**, B5, pp. 4035-4049.