

Chronologie du volcanisme aux environs du forage de Chassolle

J.M. Cantagrel*, O. Sigmarsson*, M. Condomines* et G. Kieffer*

Mots-clés : Datation, K-Ar, Roche volcanique, Néogène, Quaternaire, Th-U, Origine, Flux chaleur, Puy-de-Dôme (Région Chassolle).

Résumé

Le forage de Chassolle en Cézallier est situé dans une région de socle hercynien intensément volcanisée depuis le Miocène supérieur jusqu'à l'époque actuelle. Quatre « provinces magmatiques » s'y superposent partiellement :

- un volcanisme basaltique (s.l.) généralisé entre 8 et 2.5 Ma;
- un volcanisme alcalin différencié s'intercale localement dans cette série entre 5 et 4 Ma, en Haut Cézallier;
- un volcanisme discret rattachable au complexe Monts Dore-Sancy dans la partie NW, entre 1.20 et 0.60 Ma;
- un volcanisme « Chaîne des Puys » dispersé, entre environ 200 000 ans et 5 800 ans.

Les données volcanologiques ne permettent pas d'envisager l'existence d'une source de chaleur actuelle dans la croûte superficielle responsable du géothermalisme de la région de Chassolle. L'anomalie thermique observée doit être liée à la remontée de l'interface croûte-manteau sous le Massif central ou à la mise en place à la base de la croûte inférieure d'intrusions magmatiques.

Abstract

Radiometric chronology of volcanism near the Chassolle borehole.

The Chassolle borehole is located in a region of Hercynian basement, at the centre of an area that has experienced considerable volcanism from the upper Miocene to the Holocene period. Four volcanic provinces may be distinguished :

- Basaltic (sensu lato) volcanism widespread on the basement from 8 to 2.5 Ma.
- Differentiated lavas of the Haut Cézallier volcanic centre emplaced between 5 and 4 Ma (phonolite, tephrite and trachyte lava flows, domes and pyroclastites).
- Basaltic and trachyandesitic rocks of the Monts Dore — Sancy volcanic complex in the NW Cézallier between 1.20 to 0.60 Ma.

- Mainly basaltic lavas flows and maar structures of the « Chaîne des Puys » suite from 200 000 y to 5 800 y BP.

Volcanological, petrological and chronological data preclude the existence of a presently active magmatic crustal reservoir, responsible for geothermalism near the Chassolle borehole. The thermal anomaly observed in this region may be linked with the uprising of the crust-mantle interface under the Massif central, or with the emplacement of magmatic sills or dykes at the base of the lower crust.

* OPGC, Centre de recherches volcaniques et UA 10 CNRS.
Université de Clermont II, 5, rue Kessler 63000 Clermont-Ferrand

Introduction

Le forage GPF de Chassolle est implanté dans le socle hercynien quelques kilomètres au SW d'Ardes sur Couze, dans une région intensément volcanisée depuis le Miocène supérieur, soit au cours des derniers 10 millions d'années. Les travaux récents, en particulier ceux effectués dans le cadre du thème 10 du programme GPF (géothermalisme actuel, Cézallier), ont montré entre autres, l'existence d'un volcanisme quaternaire récent à proximité de Chassolle : volcans de Mazoires et de Zanières par exemple. Il était toutefois important de replacer ce volcanisme quaternaire dans l'ensemble de la région du Cézallier afin de formuler une hypothèse sur la localisation d'une éventuelle source de chaleur liée à ce magmatisme alcalin, et responsable d'un flux de chaleur anormalement élevé. Les mesures géochronologiques nouvelles ont donc été effectuées dans un rayon d'environ 15 à 20 km autour du sondage. La région couverte est à peu près comprise dans un rectangle Besse, Issoire (Puy-de-Dôme), Massiac, Allanche (Cantal) dont une cartographie géologique schématique est donnée sur la figure 1. La plupart des âges actuellement disponibles ou publiés antérieurement ont également été reportés sur cette figure afin d'établir une première synthèse chronologique des principaux épisodes volcaniques ayant affecté cette partie du Massif central.

Résultats analytiques

Une vingtaine d'échantillons ont été analysés. La localisation des points de prélèvements et la nature pétrographique des roches sont donnés dans le tableau 1. Les techniques utilisées pour les déterminations K-Ar ont déjà été décrites par ailleurs (Cantagrel J.-M., 1973; Cantagrel J.-M. et Baubron J.-C., 1983). Les données analytiques K-Ar sont données dans le tableau 2. Toutes ces nouvelles mesures ont été effectuées sur des échantillons « roches totales ».

Par ailleurs, trois échantillons du volcanisme quaternaire récent de la région Chassolle-Ardes sur Couze ont été étudiés par la méthode du déséquilibre radioactif ^{238}U - ^{230}Th . Les techniques expérimentales et le principe de cette méthode ont été décrits par Condomines M. et al., (1982 b). Les résultats obtenus sur les roches totales et les différentes fractions de titanomagnétites analysées sont donnés dans le tableau 3.

Discussion

L'examen des résultats bruts fait apparaître au premier abord une activité volcanique pratiquement continue depuis environ 8 Ma (millions d'années) jusqu'à l'époque actuelle. Nous essaierons cependant de distinguer les principales périodes de mise en place soulignées par une activité volcanique intense en essayant de les rattacher aux diverses provinces magmatiques classiquement reconnues dans le Massif central.

Tabl. 1. — Localisation et nature pétrographique des échantillons analysés : la toponymie utilisée est celle des cartes topographiques IGN 1/50 000 de Besse en Chandesse et Massiac. Les coordonnées des lieux des prélèvements sont données par rapport au quadrillage kilométrique de la projection Lambert III zone sud.

Location and petrographic nature of the analysed samples. Local names are from IGN topographic 1 : 50 000 scale maps of Besse en Chandesse and Massiac. Coordinates of sampling points are given relative to the metric grid from Lambert III, south zone projection.

- (1) — R 11609 : Basalte à modules de péridotites. Le Malnon X=657,7; Y=357,2; Z=930 m.
- (2) — R 11608 : Basanite — Moulin de Courbière X=658,2; Y=350,5; Z=980 m.
- (3) — R 11610 : Coulée basaltique de Zanières (volcan du Sarran) X=659; Y=347,7; Z=970 m. Echantillon C³ étudié en ^{238}U - ^{230}Th .
- (4) — R 11717 : Dyke basaltique recoupant le cône de scorie de Mazoires — carrière près les Angles — Echantillon C4a étudié en ^{238}U / ^{230}Th . X=655,6; Y=342,7; Z=1 080 m.
- (5) — R 11718 : Basalte, coulée du volcan de Mazoires. Echantillon C4b étudié en ^{238}U / ^{230}Th . X=655,9; Y=343,5; Z=1 000 m.
- (6) — R 11611 : Coulée basaltique du volcan de la côte 1275, 1,5 km au Sud d'Auzolle. X=653; Y=344,1; Z=940 m.
- (7) — R 11719 : Coulée de basalte clair (hawaïte) de La Chapelle Laurent (feuille 50 000 ème Brioude) provenant du volcan de Chapelas. X=672; Y=329,8; Z=750 m.
- (8) — R 11721 : Coulée de basanite claire — près le Bru; point de sortie inconnu. X=656,1; Y=326; Z=1 100 m.
- (9) — R 11722 : Coulée de basanite vitreuse noire surmontant un niveau à gros galets basaltiques reposant sur le socle à Charmensac. X=659,5; Y=324,4; Z=940 m.
- (10) — R 11724 : Coulée de basanite claire, sommet du plateau de Chalet. X=668,3; Y=331,2; Z=700 m.
- (11) — R 11725 : Basanite noire vitreuse — Carrière 1 km au nord de Grenier-Montgon. X=667,9; Y=333; Z=685 m.
- (12) — R 11726 : Coulée de basanite à la base du plateau de Chadelcol. X=665,5; Y=336,6; Z=740 m.
- (13) — R 6132 : Coulée de basanite reposant sur les ponces trachytiques. Cascade de Saillant. X=644,7; Y=336,9; Z=1 320 m.
- (14) — R 6129 : Trachyte hololeucocrate — bloc non expansé dans les ponces. Ferme du Buisson. X=648,5; Y=339; Z=1 280 m.
- (15) — R 6126 : Basanite à hornblende — ruisseau de Boutaressse. X=649,8; Y=338,8; Z=1 320 m.
- (16) — R 6122 : Basanite claire — sommet de Bois du Cézallier. X=650,7; Y=338,3; Z=1 540 m.
- (17) — R 8969 : Coulée basaltique reposant sur les trachy andésites porphyriques de la base du Mont Chamaroux. X=646,90; Y=338,3; Z=1 360 m.
- (18) — R 8970 : Coulée de basanite — ruisseau de la Ravelle. X=653,3; Y=334,6; Z=1 280 m.
- (19) — R 8971 : Basanite coulée en rive gauche du ruisseau de la Ravelle. X=653,5; Y=334,5 Z=1 230 m.

1) « L'inondation » basaltique Miocène supérieur — Pliocène : (entre 8 et 2.50 Ma)

Les plus anciens basaltes actuellement reconnus dans la région sont âgés d'environ 8 Ma : coulée de base du Cirque d'Artout (1, fig. 1) à 7.8 Ma (Cantagrel J.-M et Thonat, 1976). Il faut sans doute rattacher à ces événements anciens certains culots basaltiques de la Limagne d'Issoire, celui de Vodable (2, fig. 1) par exemple, de même que certaines structures « pépéritiques » localisées dans les sédiments oligocènes à Hubel (3, fig. 1) mais aussi celles d'Ardes-sur-Couze. Cette dernière structure, bien que non datée avec précision, par suite de l'absence de matériau volcanique fiable, ne saurait être considérée comme d'âge quaternaire récent, ce que laissait entendre les rapports GPF précédents (Jeambrun M., 1984; Feybesse J.-L., 1985). En effet, la nature des produits (hyaloclastites), et le niveau d'érosion de cet appareil, lui confèrent un âge au moins pliocène, voire miocène supérieur, à

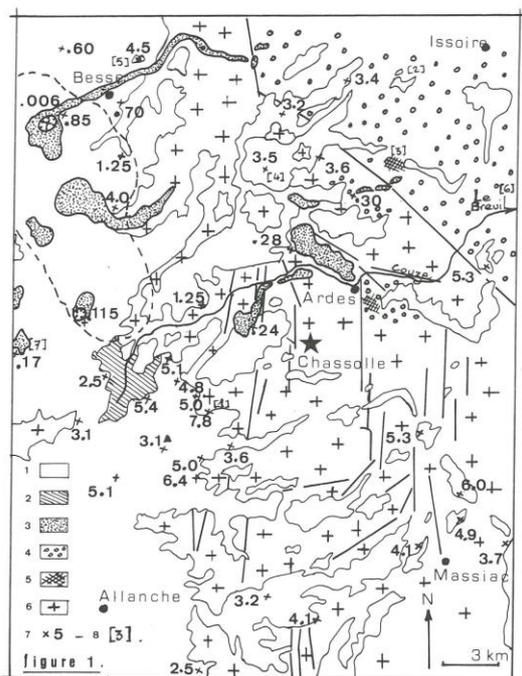


Fig. 1. — Carte géologique schématique du Cézallier; (1) laves basaltiques miocène supérieur et pliocène, (2) roches différenciées (phonolite, téphrite, trachyte) du Haut Cézallier, (3) laves quaternaires et holocènes de la chaîne des Puys, (4) sédiments oligocènes, (5) « diatème pépéritique », (6) socle hercynien, (7) localisation des échantillons et âge en millions d'années, (8) noms de lieux cités dans le texte: (1) cirque d'Artout, (2) Vodable, (3) Hubel, (5) Mont Redon, (6) Le Breuil-sur-Couze, (7) Espinchal. La ligne en tireté marque l'extension des retombées ponçueuses du Pavin selon Bourdier (1983). On sait aujourd'hui que celles-ci ont une extension beaucoup plus large vers le Sud puisqu'il en existe encore 3 cm dans les tourbières au N de St-Flour dans le Cantal (Juigné E., 1986). Geological sketch map of the Cézallier; (1) upper Miocene-Pliocene basaltic lavas, (2) differentiated Haut Cézallier volcanics (phonolite, tephrite, trachyte), (3) late Quaternary to Holocene volcanics from Chaîne des Puys suite, (4) Oligocene sediments, (5) peperitic diatreme, (6) Hercynian basement, (7) sample location and age in Ma, (8) Local names cited in the text. Black star: site of the borehole.

l'égal des diatèmes « pépéritiques » de Limagne en général. Si des appareils phréatomagmatiques récents existent bien dans le Cézallier, leur description et leur inventaire reste jusqu'à ce jour incomplet.

A partir de 6 Ma environ débute une phase d'activité volcanique intense. Des laves basaltiques (s.l.) ont recouvert une grande partie de la région, elles ont été émises à partir de points de sortie pas toujours identifiables mais certainement nombreux et dispersés sur le socle: un tel épisode ne correspond pas à un volcanisme de type centré. Ces coulées matérialisent, en particulier dans toute la partie Est un ancien réseau hydrographique pliocène, comme l'ancienne vallée de l'Allagnon (Thonat A, 1984) envahie périodiquement par des basanites vitreuses noires vers 5 Ma pendant une durée de 500 000 ans, voire de 1 Ma. C'est aussi pendant cette phase de volcanisme basique qu'est construit l'empilement basaltique (localement plus de 10 coulées superposées) des Rannoux (4, fig. 1) dont les laves terminales très fluides (basalte à

Tabl. 2. — Localisation et résultats analytiques K-Ar des échantillons étudiés. Samples locations and K-Ar analytical results.

Éch. n°	Localisation	K %	Ar ⁴⁰ .10 ⁻⁹ g.g ⁻¹	% rad	t Ma* (±)
R 11609 (1)**	Le Malnon	1.37	0.301	80.8	3.15 ± 15
R 11608 (2)	Moulin Corbière	1.84	0.040	93.4	0.31 ± 05
R 11610 (3)	Zanières	1.53	0.030	96.0	0.28 ± 07
R 11717 (4)	Mazoires (dyke) CAa	1.61	0.044	96.5	0.39 ± 10
R 11718 (5)	Mazoires (coulée) CAb	1.57	0.030	97.0	0.28 ± 09
R 11611 (6)	S. Auzolles	1.35	0.114	83.0	1.22 ± 07
R 11719 (7)	Chapeles	1.52	0.389	67.3	3.70 ± 10
R 11720 (8)	Bussac	2.93	0.837	51.5	4.10 ± 09
R 11721 (9)	Le Bru	1.34	0.299	70.1	3.20 ± 10
R 11722 (10)	Charmensac	1.39	0.391	85.5	4.06 ± 25
R 11724 (12)	Le Chalet	1.73	0.592	80.8	4.90 ± 20
R 11725 (13)	Grenier-Montgon	1.75	0.735	89.1	6.0 ± 5
R 11726 (14)	Chadecol	1.64	0.605	80.7	5.30 ± 25
R 6132 (15)	Le Saillant	1.56	0.332	83.7	3.0 ± 10
R 6130 (16)	Toulouse Bas	3.19	1.79	22.5	7.90 ± 20
R 6129 (17)	Le Buisson	4.93	1.38	9.6	3.95 ± 10
R 6126 (18)	Bouaressse	0.727	0.323	47.5	6.20 ± 2
R 6122 (19)	Bois de Cézallier	1.45	0.514	46.9	5.0 ± 15
R 8969 (20)	Chamaroux	1.75	0.304	70.4	2.50 ± 15
R 8970 (21)	La Ravelle	0.63	0.216	87.2	5.0 ± 50
R 8971 (22)	La Ravelle Rivegauche	1.35	0.339	84.0	3.60 ± 5

(*) Ages calculés avec les constantes suivantes:

$\lambda (40K/\beta) = 4.962 \cdot 10^{-10} \cdot \text{an}^{-1}$; $\lambda (40K_e) = (40K_e) = 0.581 \cdot 10^{10} \cdot \text{an}^{-1}$; $40K = 0.01167$ atome %.

** Les numéros entre parenthèses sont reportés sur la carte de la figure 1. Les échantillons du Haut-Cézallier ont été fournis par A. Thonat.

** Numbers in parentheses are reported on Fig. 1. Samples from Haut Cézallier area have been provided by A. Thonat.

structure doléritique) ont été reconnues très loin vers le Nord jusqu'à Rocca Neyra dans le plateau de Perrier (G. Kieffer, 1967; J.-L. Poidevin et al, 1984). Ces laves peu ou pas différenciées représentent l'événement volcanique volumétriquement le plus important de l'ensemble de la région. Elles se sont mises en place entre 8 et 2.5 Ma avec une fréquence maximum vers 5 Ma environ. On peut remarquer que l'extension géographique de cette phase basaltique dépasse largement la région de Cézallier. Des basaltes du même âge sont connus au Nord sous les formations des Monts Dore, au Puy de Mont Redon (5, fig. 1), (J.-L. Bourdier et J.-M. Cantagrel, 1983; J.-M. Cantagrel et J.-C. Baubron, 1983) mais aussi vers le Sud avec la construction des vastes plateaux basaltiques supra-cantaliers (G. Boudon et J.-M. Cantagrel, 1981). Cette véritable « inondation basaltique » n'est pas propre au Cézallier. Elle doit être considérée comme l'une des phases d'activité volcanique paroxysmale de tout le Massif central français dont il est pour l'instant difficile d'apprécier l'importance volumique.

2) Le volcanisme différencié du Haut Cézallier (5 à 4 Ma)

Dans le Haut Cézallier, altimétriquement parlant, et en particulier dans la vallée supérieure de la Couze d'Ardes, affluent des roches volcaniques différenciées sous forme de dômes, coulées et pyroclastites décrites par A. Thonat (1984). Celles-ci se situent dans le temps entre 5.2 et 4 Ma; leur extension et par suite leur volume reste difficile à préciser par suite d'un recouvrement basaltique postérieur. Elles s'intercalent donc dans la série basaltique précédente. Comme dans les grands volcans centrés du Massif central, mais à une échelle beaucoup plus réduite, coexistent ici des laves sur et sous saturées en silice. Les mesures K.Ar nouvellement effectuées, comparées à celles antérieurement publiées (J.-M. Cantagrel et A. Thonat, 1976) permettent d'établir la chronologie suivante:

- basaltes et basanites inférieurs entre 8 et 5.40 Ma
- phonolite, téphrite à hauyne et trachyte: 5.10 Ma

— trachyandésite et ponces trachytiques à biotite : 4.50 et 4.0 Ma

— basaltes et basanites supérieurs : ...3.0 à 2.50 Ma.

Cet épisode de volcanisme différencié du Haut Cézallier apparaît donc comme relativement bref, centré au-dessus d'un réservoir crustal que les données volcanologiques et pétrologiques actuelles ne permettent guère de contraindre quant à son volume et à sa profondeur. Existe-t-il en Cézallier une structure de type caldéra liée à l'activité pyroclastique ? De telles données seraient sans doute nécessaires pour vérifier, comme on peut le penser, qu'un tel réservoir est aujourd'hui entièrement cristallisé et refroidi.

3) Le volcanisme du Mont Dore, Sancy du quart nord-ouest (1.2 à 0.60 Ma)

Après 2.50 Ma, l'activité volcanique se réduit considérablement. Elle cesse même semble-t-il dans toute la partie méridionale de la région concernée. Seule la partie nord-ouest est affectée par quelques émissions basaltiques entre 1.20 et 1.10 Ma, puis aux environs de Besse-en-Chandesse par des laves trachyandésitiques entre 0.90 et 0.60 Ma. Ce volcanisme est chronologiquement et magmatologiquement à rattacher au fonctionnement du complexe Mont Dore-Sancy localisé plus au nord.

4) Une formation poncée énigmatique : les ponces de Breuil-sur-Couze

Signalée oralement par plusieurs géologues, affleure au Breuil-sur-Couze près du confluent de la Couze d'Ardes et de l'Allier une formation poncée, interprétable en termes de coulée pyroclastique. Ces ponces aujourd'hui difficilement accessibles, reposent sur une terrasse alluviale récente quelques 25 m au-dessus du niveau actuel de l'Allier (M. Fouris, 1985). Une telle position implique un âge très récent (100 à 200 000 ans) pour cette coulée, en l'absence de phénomènes néotectoniques importants. Les premiers résultats K-Ar effectués sur les phénocristaux de ces ponces sont contradictoires : Plagioclase : 0.95 Ma ; Biotite : 4.8 Ma ; amphibole : 2.8 Ma (J.-L. Poidevin et J.-M. Cantagrel, inédit). Si les âges biotite et amphibole sont sans signification géologique, l'âge de 0.95 Ma mesuré sur le feldspath est compatible avec celui des premières éruptions poncées du Sancy. Cependant pour des raisons topographiques, une telle coulée nécessairement canalisée dans la vallée ne peut provenir de cette région. Il faudrait donc rechercher un point de sortie en amont de la Couze d'Ardes peut-être jusque dans le Haut-Cézallier. Aucune structure de cet âge, pouvant correspondre à ce type d'éruption pyroclastique, n'est actuellement connue dans cette région. Des études sont en cours pour tenter de résoudre ce problème : recherche du point de sortie, essai de datation par la méthode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ou par déséquilibre radioactif. Un tel fait pourrait être d'une certaine importance vis-à-vis d'une source de chaleur possible à proximité du forage de Chassolle.

5) Le volcanisme quaternaire récent à Holocène

Le volcanisme basaltique récent de la région de Chassolle - Ardes-sur-Couze a été signalé et décrit par Guérin et al. (1981) et dans les rapports GPF précédents. Les âges K-

Ar de 280 000 et de 300 000 ans mesurés pour les coulées des volcans de Zanières et du Moulin de Courbières confirment bien ce volcanisme quaternaire. Il faut toutefois noter la présence dans tous les échantillons de nombreuses enclaves soit de péridotites soit de granitoïdes du socle. Ces conditions ne sont guère favorables à leur datation, car il est difficile d'éliminer complètement de possibles xénocristaux. Ces âges nous paraissent devoir être considérés comme des maxima ce qu'impliquent d'ailleurs les mesures effectuées sur ces mêmes échantillons par la méthode du déséquilibre radioactif ^{238}U - ^{230}Th dont nous présenterons ici les premiers résultats chronologiques et géochimiques (tabl. 3 et 4). Les données analytiques obtenues sur les roches totales et les différentes fractions de titanomagnétites mesurées sont reportées sur la figure 2 dans le classique diagramme isochrone ($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$) - ($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$) (Allègre C.-J., 1968). Les

Tabl. 3. — Résultats des analyses sur les échantillons de Zanières et Mazoires.

Analytical results for Zanières and Mazoires samples.

	U ppm	Th ppm	Th U	^{238}U * 232 Th	^{230}Th * 232 Th
— Zanières					
C3 R.T.	1,69	6,28	3,72	0,822	$0,887 \pm 0,014$
C3 M1	1,37	3,88	2,83	1,08	$1,042 \pm 0,025$
C3 M2	1,80	4,22	2,34	1,30	$1,288 \pm 0,026$
— Mazoires Dyke					
C4a R.T.	1,62	6,23	3,85	0,795	$0,826 \pm 0,013$
C4a M2	0,90	2,36	2,62	1,17	$1,081 \pm 0,024$
Coulée					
C4b R.T.	1,60	6,28	3,93	0,779	$0,822 \pm 0,013$
C4b M2	1,20	3,31	2,76	1,11	$1,076 \pm 0,019$

* Rapports en activités : M1 et M2 désignent deux fractions de titanomagnétite ($80\text{-}25\ \mu$ et $25\text{-}8\ \mu$ respectivement). L'erreur relative sur les rapports $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ est estimée à 1 %.

L'erreur sur les rapports $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est l'erreur statistique de comptage (2 σ).

* Activity ratios : M1 and M2 are $80\text{-}25\ \mu$ and $25\text{-}8\ \mu$ titanomagnetite fractions respectively. Relative error is estimated at 1% for ($^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$). Error on ($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$) is the statistical counting error (2 σ).

Tabl. 4. — Analyses d'éléments majeurs des échantillons Cézallier comparées à celles de deux laves de la chaîne des Puy.

(Cha. 1 : Coulée de St-Pierre Le Chastel, P1 Coulée de Peschadoires — cf. réf. 5).

Analyses F. Cantagrel et S. Couturie, Clermont-Ferrand
Major-element chemical analyses of Cézallier samples and chaîne des Puy samples for comparison

	Cézallier			Chaîne des Puy	
	C3	C4a	C4b	P1	Cha1
SiO ₂	45,70	45,05	44,85	46,70	47,00
Al ₂ O ₃	14,90	14,80	14,60	17,00	17,10
Fe ₂ O ₃	4,87	5,37	4,39	4,31	5,92
FeO	6,06	6,06	7,22	7,38	5,21
MgO	8,73	9,00	8,40	7,00	6,40
CaO	10,83	10,33	10,20	9,50	9,70
Na ₂ O	3,80	3,70	3,80	3,60	3,80
K ₂ O	1,90	2,10	2,00	1,90	2,00
TiO ₂	3,20	3,30	3,20	2,85	2,90
MnO	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20
H ₂ O ⁺	0	0	0,08	0	0
H ₂ O ⁻	0,17	0,15	0,10	0	0,06
Total	100,34	100,05	99,03	100,44	100,29

points représentatifs de la coulée et du dyke de Mazoires (échantillon C 4a et C 4b respectivement) définissent une isochrone donnant un âge de $140\,000 \pm 19\,000$ ans bien que l'alignement des points ne soit pas parfait. Par contre les analyses réalisées sur les titanomagnétites de la coulée de Zanières (échantillons C 3) ne permettent pas de tracer une isochrone. En tenant compte uniquement des points représentatifs de la roche totale et de la fraction grossière de titanomagnétites, dont le rapport U/Th est voisin de celui des titanomagnétites de Mazoires, on obtiendrait un âge d'environ 100 000 ans. Comme nous l'avons signalé précédemment, il est possible que la présence de xénocristaux du socle, en équilibre radioactif, expliquent l'absence d'isochrone interne pour la coulée de Zanières. L'âge obtenu pour le volcan de Mazoires est inférieur à ceux déterminés par K-Ar: 240 000 ans. (G. Guérin et al., 1981) et 280 000 ans (cette étude) qui semblent « vieillir » par une certaine contamination d'origine granitique. Ceci souligne une fois de plus la difficulté d'obtenir des datations précises pour le volcanisme très récent quelle que soit la méthode utilisée. Les mesures en cours pourront permettre de dater d'autres cônes basaltiques rapportés à cette période d'activité volcanique en particulier dans la région d'Espinhal ou des âges voisins de 150, 100, et même 50 000 ans ont été mesurés soit par K-Ar soit par la méthode de thermoluminescence appliquée aux plagioclases (G. Guérin et al., 1981; G. Guérin, 1983).

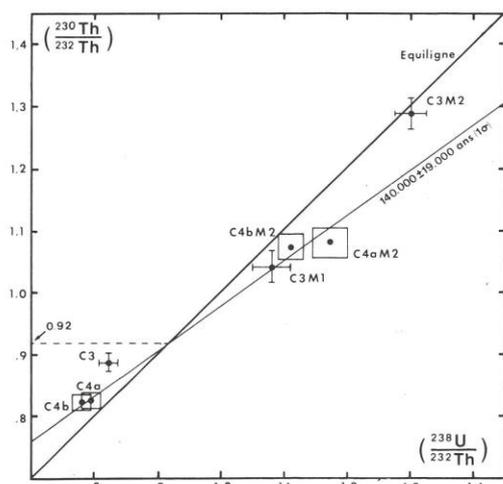


Fig. 2. — Diagramme pour les échantillons de Zanières (C₃) et Mazoires (C_{4a} et C_{4b}).
- Isochron diagram for C₃ (Zanières), C_{4a} and C_{4b} (Mazoires) samples.

Remarque géochimique

Les analyses d'éléments majeurs des échantillons étudiés sont reportées dans le tableau 4, ainsi que des analyses de laves de la Chaîne des Puys sensu stricto, pour comparaison. Les laves d'Ardes-sur-Couze ont des rapports alcalins-silice légèrement supérieurs à ceux des laves de la Chaîne des Puys. Si l'on adopte la classification proposée par Le Bas et al., (1986), ces roches se placent dans le champ des téphrites

basaltiques, en accord avec leur caractère plus sous saturé que celles de la Chaîne des Puys, qui ont des compositions de basaltes ou de trachybasaltes. Les teneurs en U, Th et les rapports Th/U (tabl. 3), sont similaires à ceux des laves basiques de la chaîne des Puys. (M. Condomines et al., 1982; B. Villemant, 1982; C. Guérin, 1983). En outre les rapports initiaux $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})^0$ des laves de Zanières et Mazoires se situent dans la même gamme que ceux des basaltes de la Chaîne des Puys. La figure 3 représente dans le diagramme isochrone, les rapports initiaux $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})^0$ des laves basiques datées par la méthode ^{230}Th - ^{238}U . Les rapports initiaux les plus bas sont probablement dus à une contamination crustale des magmas (M. Condomines et al., 1982). Les échantillons du Cézallier se placent dans le domaine de la Chaîne des Puys et se révèlent peu ou moyennement contaminés.

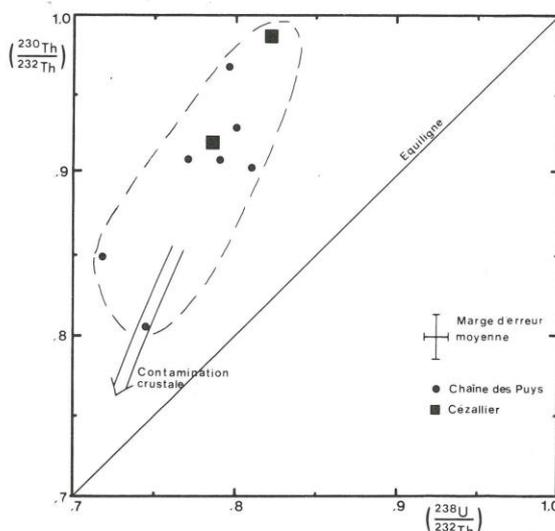


Fig. 3. — Position des échantillons du Cézallier comparés à ceux de la chaîne des Puys dans le diagramme $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})^0 - (^{238}\text{U}/^{232}\text{Th})$.

Cézallier samples position compared with chaîne des Puys in the $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})^0 - (^{238}\text{U}/^{232}\text{Th})$ diagram.

Ces quelques données géochimiques montrent que les magmas du volcanisme récent d'Ardes sont voisins de ceux de la Chaîne des Puys. Il convient donc de les rattacher à cette province volcanique, ce qu'indiquent bien par ailleurs les données chronologiques. En effet des laves quaternaires récentes existent bien par exemple dans la région Nord des Monts Dore et même dans la Chaîne des Puys sensu stricto comme le maar de Clermont à 156 000 ans ou celui de Saint-Hippolyte près de Riom à 115 000 ans (âges mesurés par thermoluminescence sur quartz: D. Miallier, 1982). L'ensemble des manifestations de cet âge n'a sans doute pas encore été reconnu de façon exhaustive. De plus, il convient bien sûr de rappeler l'existence dans le Cézallier d'un volcanisme d'âge holocène avec entre autres, la succession aujourd'hui bien établie et bien datée par la méthode ^{14}C : Montcineyre à 6 350 ans, maar d'Estivadoux, Puy et coulée du Montchal et cratère du Pavin à 5 850 ans (E. Juvinié et E. Gilot, 1986). Cette dernière éruption explosive de nature

trachytique, légèrement plus ancienne que ce que l'on pensait, reste cependant la manifestation volcanique la plus jeune actuellement reconnue dans cette région.

Conclusion

Le volcanisme de la région de Chassolle-Ardes-sur-Couze dans le Cézallier se situe à la rencontre de plusieurs provinces volcaniques dont les produits interfèrent ou se superposent dans un rayon de 20 kilomètres autour du forage GPF. Ces provinces volcaniques peuvent être définies essentiellement sur des bases chronologiques afin de permettre une comparaison des laves émises au cours d'une même phase éruptive.

Du plus ancien au plus récent, on peut distinguer successivement :

1. Un volcanisme Miocène supérieur et Pliocène entre 8 et 2.5 Ma pour la région considérée. Essentiellement basaltiques (s.l.), ces roches volcaniques se sont épanchées à partir de points de sortie dispersés sur le socle hercynien. Entre 5.10 et 4 Ma s'interstratifie ou s'intercale localement dans cette série basaltique, le volcanisme différencié du Haut-Cézallier. Phonolitique et trachytique cette activité parfois pyroclastique correspond à un épisode, relativement bref et de type centré.

2. Après une période de calme, voire d'arrêt des éruptions entre 2.50 et 1.20 Ma, se mettent en place dans le quart NW de rares roches basaltiques ou trachyandésitiques appartenant au complexe volcanique Monts Dore - Sancy.

3. Après une nouvelle phase d'arrêt des éruptions (entre 0.60 et 0.20 Ma) débute dans cette région vers 150 à 200 000 ans le volcanisme pleistocène supérieur et holocène du Cézallier que nous rattachons à la province volcanique de la Chaîne des Puys.

Quelles hypothèses peut-on formuler quant à la localisation au voisinage du forage de Chassolle d'une éventuelle source de chaleur liée à ce volcanisme ?

Seul un volcanisme différencié paraît susceptible d'être ou d'avoir été en relation avec un réservoir magmatique de profondeur intermédiaire, dans la croûte superficielle (5 à 12 km). Parmi ceux-ci, le volcanisme trachytique et phonolitique du Haut Cézallier est ancien (4.5 Ma environ). Excentré par rapport au forage, il est par ailleurs de volume peu important : quelques km³ de produits émis. Un tel réservoir devrait être refroidi. Beaucoup plus récent (5 800 ans) mais plus éloigné de Chassolle (environ 20 km au NW), le volcan trachytique du cratère Pavin était à l'aplomb d'un réservoir d'extension probablement très réduite (moins d'un km³ de produits émis. Enfin, le reste du volcanisme récent du Cézallier est basaltique, il s'est mis en place par des fractures, sans doute nombreuses en accord avec le champ des contraintes actuel ou très récent et réparties dans toute la région (J.-L. Feybesse, 1985). Ces fractures actives, probablement NS, assurent le drainage des magmas vers la surface, comme d'ailleurs celui des eaux thermales, sans doute très rapidement, sans réservoir intermédiaire, à partir des régions sources comme en témoigne parfois l'abondance des xénolites denses de périodites.

Il ne semble donc pas nécessaire d'envisager un réservoir magmatique superficiel proche des sources de Chassolle. La source de chaleur responsable de géothermalisme dont les différentes manifestations sont décrites par ailleurs, doit

être recherchée plus profondément : au niveau du « diapir » mantellique mis en évidence par la géophysique, voire à l'interface croûte-manteau où pourraient être stockés des magmas basaltiques. Les valeurs élevées des rapports ³He/⁴He soulignant un apport important de gaz mantellique sont aussi un argument dans ce sens.

Références bibliographiques

- ALLÈGRE C.J. (1968). — ²³⁰Th dating of volcanic rocks - A comment. *Earth Planet. Sci. Lett.* 3, 338.
- BOUDON G., CANTAGREL J.M., (1981). — Données géochronologiques sur quelques laves à leucite des « planèzes » du Cantal. *C.R. Som. Soc. géol. Fr.*, n° 5-6, pp. 171-174.
- BOURDIER J.L., CANTAGREL J.M. (1983). Le volcanisme aux confins Monts-Dore - Cézallier (Massif central Français). Nouvelles données chronologiques. *Bull. Soc., géol. Fr.* (7), 25, n° 2, pp. 277-280.
- CANTAGREL J.M. (1973). — Signification des âges à l'argon déterminés sur amphiboles dans les socles métamorphiques anciens. *Ann. Sci. Univ. Clermont*, n° 50, 282 p.
- CANTAGREL J.M., BAUBRON J.C. (1983). — Chronologie des éruptions dans le massif volcanique des Monts-Dore. Implications volcanologiques. BRGM. *Géologie de la France*, (2), n° 1-2, pp. 123-142.
- CANTAGREL J.M., THONAT A. (1976). — Age du volcanisme dans le Cézallier (Massif central Français) et migration de l'activité volcanique en Auvergne. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 282, 1837-40.
- CONDOMINES M., MORAND C., CAMUS G., DUTHOU J.L. (1982a). — Chronological and geochemical studies of lavas from the Chaîne des Puys (Massif central, France). Evidence for crustal contamination. *Contrib. Miner. Petrol.*, 81, pp. 2956-303.
- CONDOMINES M., TANGUY J.C., KIEFFER G., ALLÈGRE C.J. (1982b). — Magmatic evolution of volcano studied by ²³⁰Th - ²³⁸U. Disequilibrium and trace elements systematics : The Etna Case. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, pp. 1397-1416.
- FEYBESSE J.L. (1985). — Synthèse géologique du Cézallier GPF. Thème 10, Géothermalisme actuel. Doc. BRGM n° 95-10, p. 45.
- FOURIS M. (1985). — Application de la méthode du déséquilibre radioactif à quelques laves de la Chaîne des Puys et de la région du Breuil-sur-Couze. Mém. DEA. Univ. Clermont II, 42 p.
- GUÉRIN C. (1983). — La thermoluminescence des plagioclases, méthode de datation du volcanisme. Applications au domaine volcanique français : Chaîne des Puys, Monts-Dore, Cézallier et Bas Vivarais. Thèse Doc. Etat. Univ. Paris 6.
- GUÉRIN C., VALLADAS G. (1980). — Thermoluminescence dating of volcanic plagioclases. *Nature*, 286, 697-699.
- GUÉRIN G., GILLOT P.Y., LE GARREC M.J., BROUSSE R. (1981). — Age subactuel des dernières manifestations éruptives du Mont-Dore et du Cézallier. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 292, sér. II, pp. 855-857.
- JEAMBRUN M. (1984). — Linéaments et phréatomagmatisme dans la région d'Ardes-sur-Couze. Colloque GPF, Paris 1984. Doc. BRGM n° 81-10.
- JUVIGNÉ E., GILOT E. (1986). — Ages et zones de dispersion de téphra émises par les volcans de Montcineyre et du lac Pavin (Massif central, France). *Z. dt. géol. Ges.*, 137, pp. 613-623, Hannover, 1986.
- KIEFFER G. (1987). — Nouvelles observations géologiques et morphologiques sur la région de Perrier et le Nord-Est du Cézallier. *Rev. Auvergne*, 81, n° 2, pp. 137-151.
- LE BAS M.J., LE MAITRE R.W., STRECKEISEN A., ZANETTI B. (1986). — A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, 27-3, pp. 745-750.
- MIALLIER D. (1982). — Usage des détecteurs solides de traces dans le cadre de la datation par thermoluminescence. Thèse 3^e cycle. Université Clermont II, 106 p.
- POIDEVIN J.L., CANTAGREL J.M., GUERPA (1984). — Un site unique du Plio-pleistocène en Europe : le plateau de Perrier (Puy-de-Dôme). Confrontation des données volcanologiques, stratigraphiques et paléontologiques. *Rev. Sci. Nat. Auvergne*, 50, pp. 87-95.
- THONAT A. (1984). — Synthèse sur le volcanisme du Cézallier (Massif central Français). Colloque GPF, Paris.
- VILLEMANT B. (1979). — Étude géochimique des éléments en traces dans les séries volcaniques du Massif central, thèse 3^e cycle, Univ. Paris 6, 347 p.