



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 336 (2004) 1345–1353



<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Géomatériaux

Volcans de la chaîne des Puys (Massif central, France) : point sur la chronologie Vasset–Kilian–Pariou–Chopine

Didier Miallier^{a,*}, Laurent Michon^b, Jacques Évin^c, Thierry Pilleyre^a,
Serge Sanzelle^a, Gérard Vernet^d

^a Laboratoire de physique corpusculaire, université Blaise-Pascal, CNRS–IN2P3, UMR 6533, 63177 Aubière cedex, France

^b Laboratoire des sciences de la Terre, université de la Réunion, 15, rue René-Cassin, 97715 Saint-Denis cedex 9, France

^c Centre de datation par le radiocarbone, université Claude-Bernard, Lyon-1, bât. 217, 43, bd du 11-Novembre-1918,
69622 Villeurbanne cedex, France

^d Inrap et UMR 6042 du CNRS, 19, rue Élisée-Reclus, 63000 Clermont-Ferrand, France

Reçu le 12 février 2004 ; accepté après révision le 30 août 2004

Disponible sur Internet le 28 octobre 2004

Présenté par Claude Jaupart

Résumé

La compilation des datations radiocarbone de bois carbonisés par leurs déferlantes basales, complétée par des observations téphrochronologiques, permet d'avancer l'hypothèse que le puy Chopine, il y a environ 9700 ans, a précédé le Vasset et le Kilian, tous deux pénés-contemporains, vers 9400–9300 ans. Les produits du Nouveau Pariou sont recouverts par ceux d'un volcan trachytique, probablement le Kilian. Sous les produits explosifs initiaux du Nouveau Pariou (faciès « Traversin »), les trachytes à amphibole, qui avaient été attribués au Kilian, constituent vraisemblablement une forme méconnue des trachytes de la phase acide du Pariou lui-même. L'ordre chronologique des éruptions serait donc : Chopine/Pariou/?Vasset ?/Kilian, la position du Vasset, hypothétique, restant à confirmer. **Pour citer cet article : D. Miallier et al., C. R. Geoscience 336 (2004).**
© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Volcanoes of the Chaîne des Puys (Massif Central, France): precisions on the chronology within Vasset–Kilian–Pariou–Chopine. On the basis of radiocarbon ages obtained on wood burned by base surges and tephrochronological observations, it has been possible to assess that the Puy Chopine, aged ca 9700 yr is older by a few centuries than both the Vasset and Kilian volcanoes. The last two have nearly the same age, ca 9300–9400 yr. Layers of trachytic tephra, most probably originated from Kilian or Vasset, can be observed overlapping those from the Pariou. This last volcano had been previously thought to be the younger of the area on the basis of the observation of trachytic tephra beneath its own tephra. However, new observations allow us to assume that those trachytes originated from the acid phase of the Pariou itself. Therefore, it can be assessed that

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : miallier@clermont.in2p3.fr (D. Miallier).

the four volcanoes erupted according to the following sequence: Chopine/Pariou/Vasset/Kilian; the chronological situation of Vasset lies on poor arguments and it should be confirmed. **To cite this article:** D. Miallier et al., C. R. Geoscience 336 (2004). © 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : volcans ; chaîne des Puys ; tephrochronologie ; datation radiocarbone

Keywords: volcanoes; Chaîne des Puys; tephrochronology; radiocarbon dating

Abridged English version

Among the Holocene volcanoes of the central and northern part of the Chaîne des Puys, some of the best documented and most famous are the Puy Chopine, the Cratère Kilian, the Puy Vasset and the Puy Pariou [1]. The first three are trachytic protrusions, which gave violent eruptions, characterized by devastating surges that left widespread deposits. Pariou is a Strombolian volcano that had a complex history, beginning by an acid phase and finishing by a mugearitic phase [1,8]. It produced long lava flows. Their relative and absolute chronology has been an issue for a long time (see, e.g., [12]). It has been thought, until ca 1996, that the Pariou was the youngest of the four, because Camus [4] had observed field cross sections showing the ‘Lacroix-type’ trachytes (i.e., amphibole bearing trachytes, attributed to the Kilian) beneath the ‘Traversin-type’ products (i.e. lapilli originated from the Pariou, corresponding to an eruption that cleared the crater between the initial acid phase and the final mugearitic phase). On the other hand, the available data, mostly obtained from radiocarbon dating and pollen analysis of distant sediment and peat-bogs containing distal tephra layers [12], did not allow to precise the relative chronology within Vasset, Kilian and Chopine, the three having erupted within a time span of no more than around three centuries ca 9500 years ago (8500 BP, using the conventional radiocarbon notation).

However, new field observations, plus specific radiocarbon ages measured on proximal samples (Table 2) have shown that a trachytic volcano, Kilian or Vasset (or both), erupted around 9300–9400 years ago, after the Pariou eruptions [15,21]. Since it is very difficult to discriminate the lavas of Kilian and Vasset from each other because they show the same composition (Table 1) and mineralogy, the assumption that Vasset is somewhat older than Kilian [4] is not ascertained. The limits of the respective areas of deposits were tentatively plotted on the basis of the na-

ture of the rocks from the basement that accompany the trachyte [16]. This allowed distribution of the radiocarbon results into two corresponding groups (Table 2). The trachytic tephra that was found by Vernet et al. [21] in the Limagne plain, which has the same stratigraphic position, age and composition as the Kilian/Vasset tephra is called CF7, its origin (Kilian or Vasset?) being unknown. Chopine has a slightly older age, ca 9700 yr, consistent with tephro-stratigraphical evidence, its tephra being undoubtedly overlapped by the ultimate Pariou products. It should be noted that the direct dating of Pariou still remains poorly precise, because the only three results available today have been obtained with a large uncertainty, roughly between 8 and 10 ka [6,9,19].

In order to understand the origin of the tephrostratigraphic scheme proposed by Camus [4], the cross section of a quarry mentioned by him between the volcanoes Balmet and Filhu (see map, [1]) was re-examined. It then appeared (Fig. 3) that the trachytic pumice that lays beneath the ‘Traversin’ tephra there does not look like the Kilian/Vasset trachyte: the lapilli do not display the same colours (as for Vasset/Kilian); they show smallest amphibole phenocrysts and contain abundant real pumices (i.e., density lower than 1 g cm^{-3}) that are, until now, unknown within the Kilian/Vasset products and, finally, they have not the same refractive index pattern (Danbara, pers. comm. and [15]). On the other hand, some of them have the same composition (Table 1) as the ‘glassy black trachyte’ of the initial Pariou [4,8]. There is no clear limit between both layers of deposits (trachyte and ‘Traversin’); this suggests a continuity between the corresponding eruptions. Thus, it was deduced that the trachytes lying beneath the ‘Traversin’ products represent an unknown form of the Pariou trachyte. Some of those pumices show evident magma mixing features and a more basic composition can be observed for one sample (Table 1). This can be interpreted as marks of the transition between the initial acid and the

late mugearitic magma during the eruptive cycle of the Pariou. On the same cross section, a trachyte deposit, not mentioned by Camus, most probably originated from Kilian (from characteristics and geographical evidence), overlaps the ‘Traversin’ deposits.

As a conclusion, it can be assessed that the Pariou erupted after the Chopine, and before the Kilian. Its age would then approximately be in the range 9400–9700 y. Some indications suggest that Pariou is older than Vasset also; however, this has to be verified.

Finally, it must be outlined that other still unidentified volcanoes were in activity in the same area during the same period, and, for one at least, after the Kilian ([4,22] and work in progress).

1. Introduction

En 1996, Juvigné et al. ont publié une compilation d’études de sédiments lacustres et de tourbes contenant des lamines de téphra [12]; celle-ci permettait de proposer, pour le Massif central, un cadre téphrostratigraphique où les auteurs regroupaient les produits du puy Vasset, du cratère Kilian et du puy Chopine dans une seule entité «trachytes» (téphra éponyme de La Taphanel, [10]) sans interclassement chronologique. Son âge radiocarbone moyen est 8500 BP [12], soit environ 9500 ans (sauf mention «BP», les âges seront donnés ici en années réelles, au sens naturel du mot «âge», les calibrations étant faites avec le logiciel Oxcal du laboratoire de radiocarbone d’Oxford, d’après les tables de Stuiver et al. [20]). D’après la dispersion des résultats, la succession des éruptions aurait duré un peu moins de trois siècles. Des variations de composition minéralogique d’un site à l’autre suggèrent que l’on puisse, dans certains cas, avoir affaire à des mélanges de deux retombées (ou plus) dans une même lamine (Chopine + Kilian ou Vasset), ce qui témoignerait d’une succession rapide des éruptions : au plus quelques décennies ? (d’après [12] et Juvigné, in litt.).

Selon les observations de Camus au col de la Moréno [4], le Vasset serait antérieur au Kilian.

Il était par ailleurs admis que le Pariou est plus récent que le Kilian : Camus [4] avait noté des produits de type «Lacroix» (trachytes à amphibole, comme ceux trouvés au voisinage du Kilian) sous des produits «Traversin» (produits de débouillage explosif

qui préludent au Nouveau Pariou, décrits sur le Traversin) au sommet du puy de l’Aumône. Les trois datations disponibles jusqu’à présent ne permettaient pas de situer l’éruption du Pariou avec une grande précision : une datation ^{14}C indirecte de la grande coulée orientale donne un âge maximal de 8580 ± 350 BP (Sa 94, [6]), soit 9600 ± 1000 ans (2σ) après calibration (cf. § *Datations*), et deux datations par thermoluminescence donnent 8200 ± 800 ans (1σ) sur coulée [9] et 8700 ± 900 ans (1σ) sur téphras [19].

En ce qui concerne le puy Chopine, ses produits sont visibles sous ceux du Pariou dans toute la zone commune aux deux recouvrements (cf. carte [1]).

Mais on doit aujourd’hui décrire une réalité plus complexe que celle de trois volcans trachytiques qui auraient simplement précédé le Pariou. En effet, Vernet et al. [21] ont mis en évidence le dépôt, vers la fin du Boréal, d’une vaste nappe de produits trachytiques (dénommés CF7) qui, localement, en Grande Limagne, se superposent aux téphras du Nouveau Pariou. De plus, un dépôt de déferlante trachytique a été observé sur la grande coulée orientale du Nouveau Pariou, au lieu-dit La Bruyère des Moines, au pied même du volcan [1]. Les produits échantillonnés s’apparentent indistinctement à ceux du Vasset, du Kilian et à CF7 [15]. Il est donc acquis que l’un des deux au moins, Vasset ou Kilian, a fonctionné postérieurement à la dernière phase d’activité du Pariou.

En outre, Vernet a observé, à 1 km au nord du Pariou (site de Vulcania), un niveau décimétrique de cendres interstratifiées dans les produits les plus récents du puy Chopine [22]. Ces cendres ont une composition de trachyandésite sans parallèle dans celles du Pariou (cf. [8]). C’est aussi le cas, avec une composition de hawaïite, d’une autre retombée, d’origine inconnue, reposant sur les produits du Chopine au pied sud du puy de Porcherolles (étude en cours).

2. Le puy de Vasset et le cratère Kilian

La chronologie relative Vasset–Kilian est difficile à établir avec certitude, à cause de la difficulté de distinguer physiquement leurs produits respectifs. Deux critères ont été proposés par Michon [16], reposant, d’une part, sur des différences dans les cortèges de xénoclastes et, d’autre part, sur le fait que les trachytes du Kilian présentent parfois une figure de brassage

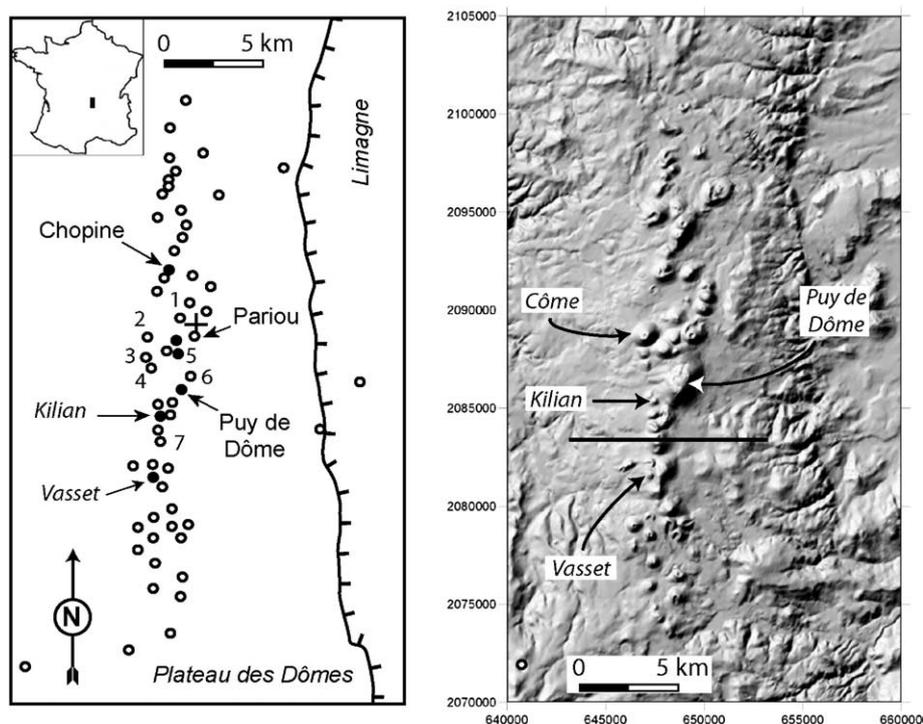


Fig. 1. Carte schématique de la chaîne des Puys (à gauche), avec les volcans trachytiques (en noir) et le site de la Bruyère des Moines (+). 1, Porcherolles ; 2, Côme ; 3, Balmet ; 4, Filhu ; 5, Aumône ; 6, petit puy de Dôme ; 7, Montchier. En trait gras (carte de droite) : limite approximative entre la nappe du Vasset, au sud, et celle du Kilian, au nord. Pour plus de détails, se reporter à la dernière édition de la *Carte volcanologique de la chaîne des Puys* [1]. Carte numérique en relief (à droite).

Fig. 1. Simplified map of the Chaîne des Puys.

(« rubanement ») jamais observée pour ceux du Vasset. Sur ces bases et à partir des gradients d'épaisseur de recouvrements et de taille des blocs, on peut imaginer une ligne est-ouest qui, passant vers le sommet du Montchier, séparerait la nappe du Vasset, au sud, de celle du Kilian, au nord (Fig. 1). On devra alors revoir les attributions d'échantillons déjà datés par ^{14}C [3], après avoir constaté que la majorité d'entre eux concernent le Vasset.

Le volcan qui s'est manifesté après le Nouveau Pariou serait le Kilian, d'après la coupe de la Bruyère des Moines. La coupe-type fait environ 1,2 m de hauteur. À la base, 40 cm de lapilli scoriacés, lités, de mugéarite (Tableau 1) reposent sur la surface tourmentée de la cheire. Au-dessus de ce niveau, les mêmes lapilli sont emballés dans une matrice brune, d'aspect argileux (sur 35 cm environ), contenant quelques rares nodules millimétriques de trachyte. On passe, au-dessus,

à l'horizon de dépôts trachytiques (30 à 40 cm) et, enfin, à un sol noir (10 à 20 cm).

Le dépôt trachytique, constitué de lapilli et blocs de masses diverses, jusqu'à 360 g, emballés dans une matrice brun-beige, a les caractères d'une déferlante : granoclassement inverse, accumulation dans les dépressions du terrain, abondance, à la base, de fragments centimétriques de bois brisé et carbonisé. Les xénoclastes sont nombreux. Les trachytes se présentent, en proportions à peu près égales, en bombes, sous deux formes :

- (1) une roche dense, gris clair à gris foncé, riche en phénocristaux d'amphibole et de feldspaths, souvent de forme allongée, anguleuse, parfois trempée en « croûte de pain » ;
- (2) un bloc arrondi, léger, de roche fragile et vésiculée (« mousseuse »), de couleur gris clair à gris jaune.

Tableau 1

Analyses élémentaires (CRPG, Vandœuvre-lès-Nancy, sauf R141.B), normalisées à 100 %. Nature des échantillons : tv, trachyte vésiculé ; td, trachyte dense ; l, lapilli scoriacés ; lm, lave massive ; p, ponce. Sites de prélèvement : Cler 374TV, pied ouest du puy de Mercœur ; Cler 340c, puy de Beaune ; Cler 329, col de Ceyssat ; Salomon TV1, puy de Salomon ; Cler 368 ; La Bruyère des Moines ; Cler 373c, Cler 407p, Cler 407d : col entre le puy Filhu et le puy Balmet, niveau à ponces. Cler 369 : saupoudrage de lapilli scoriacés, immédiatement superposés à Cler 370, coulée orientale du Nouveau Pariou (la Bruyère des Moines). R141.B : analyse d'un « bloc à cœur noir », trachyte du Pariou (pour comparaison, d'après El arabi [8])

Table 1

Elemental composition of the lavas

Volcan	réf. labo.	réf. CRPG	Nature	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
Vasset	Cler 374TV	305264	tv	61,8	20,3	3,5	0,24	0,64	2,28	6,27	4,18	0,54	0,22
Vasset	Cler 340c	305265	td	64,2	18,3	3,1	0,22	0,59	2,02	6,41	4,57	0,47	0,16
Kilian ?	Cler 368	302389	tv	61,7	21,1	3,6	0,22	0,67	2,07	5,93	3,88	0,58	0,24
Kilian ?	Cler 368 TV1	305263	tv	61,1	21,5	3,6	0,22	0,68	2,27	6,07	3,87	0,55	0,22
Kilian ?	Cler 368TD1	305261	td	64,7	17,9	3,2	0,21	0,60	1,95	6,27	4,51	0,47	0,13
Kilian ?	Cler 368 TD2	305262	td	64,5	18,2	3,2	0,19	0,59	1,97	6,27	4,47	0,48	0,14
Kilian	Cler 329	307279	td	63,0	19,3	3,1	0,23	0,45	1,99	6,64	4,68	0,46	0,16
Kilian	Salomon TV1	307278	tv	61,9	20,1	3,4	0,23	0,69	2,09	6,28	4,59	0,50	0,21
?	Cler 373c	401314	p	61,12	18,19	5,11	0,19	1,30	3,17	5,49	4,19	0,86	0,38
?	Cler 407p	401315	p	57,33	21,35	6,51	0,20	1,36	3,32	4,93	3,33	1,11	0,56
?	Cler 407d	401316	td	60,80	18,42	5,19	0,19	1,29	3,09	5,59	4,16	0,87	0,40
Pariou	R141-B		bc	61,1	18,0	5,4	0,20	1,41	3,23	5,55	4,16	1,01	ND
Pariou	Cler 370	309796	lm	52,1	18,3	10,1	0,21	2,97	6,28	4,74	2,86	1,62	0,88
Pariou	Cler 369	302390	l	51,0	19,1	10,0	0,23	3,15	6,85	4,53	2,33	1,85	0,93

En section polie, quelques blocs denses présentent des figures de brassage, et, parfois, une orientation préférentielle des amphiboles.

La composition des trachytes ne permet pas de les rapprocher plus du Kilian que du Vasset ; en revanche, une différence entre les blocs denses et les blocs vésiculés semble se dessiner (Tableau 1 et Fig. 2). L'attribution des produits trachytiques de La Bruyère des Moines au Kilian repose sur la présence de « rubannements » et le fait que l'on puisse suivre la nappe depuis le Kilian, en passant par les sommets du puy de Dôme et du petit puy de Dôme, avec une diminution de la taille des produits et de l'épaisseur des dépôts avec la distance.

3. Les trachytes du secteur Filhu–Balmet

Entre le puy Filhu et le puy Balmet, Camus [4] décrit une épaisse (plus de 1 m) couche de projections à faciès de débouillage rappelant les produits de type « Traversin » qu'il attribue cependant à une destruction partielle du premier puy de Côme. Celle-ci recouvre un lit de 20 à 40 cm d'épaisseur de ponces

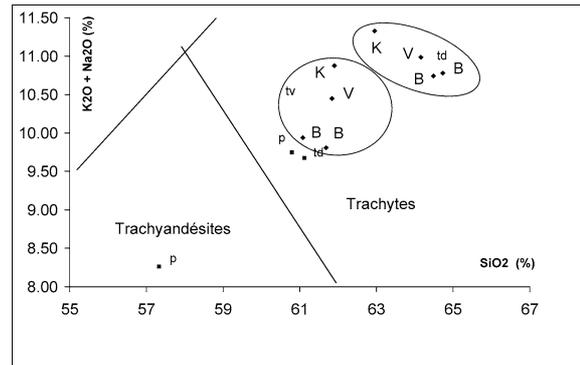


Fig. 2. Détermination de magma dans la classification de Le Bas et al. [14] : représentation graphique, dans un « diagramme TAS », SiO₂/(Na₂O + K₂O) de la composition des échantillons. Losanges : groupe Vasset–Kilian, vésiculés (tv) ou denses (td). Sites : B, la Bruyère des Moines ; V, Vasset ; K, Kilian. Localisation des prélèvements : voir Tableau 1. Carrés : niveau à ponces du col Filhu–Balmet ; p, ponce ; td, trachyte dense.

Fig. 2. Magma determination according to the classification of Le Bas et al. [14].

trachytiques à amphibole, correspondant à un « faciès latéral de vannage de trachytes de type Lacroix ». En fait, selon nos propres observations, les trachytes en

question ne ressemblent pas à ceux qui ont été décrits plus haut. Ce sont des cendres et lapilli d'un mélange, en proportions à peu près égales de trachyte et de roches diverses (socle et autres laves). Les trachytes sont représentés majoritairement par des ponces vraies (densité, $d < 1$) de couleur grise, rouge ou jaune, souvent rubanées, dont on ne connaît d'équivalent nulle part ailleurs si ce n'est dans le même secteur entre Côme et Balmet, et de lapilli gris ou jaunâtres de densité variable ($1 < d < 2,5$), dont la proportion diminue en raison inverse de la densité. La composition de deux échantillons les place dans le champ des trachytes (Fig. 2), le troisième étant un trachy-andésite. Mais la chimie de ces deux trachytes est beaucoup plus proche de celle des trachytes « noirs vitreux » décrits par Camus [4] et El Arabi [8], à la base des produits explosifs « Traversin », que de celle de Kilian ou Vasset (Tableau 1). La majorité des grains, notamment les non trachytiques, sont superficiellement marqués par des vitrifications brunes. Cette strate est supportée par un lit mince (2 à 3 cm), jaunâtre, de cendres composées de trachyte de même aspect que celui du niveau sus-jacent, très majoritaire, et de fragments de roches et minéraux du socle. L'analyse des indices de réfraction des minéraux transparents (T. Danhara, comm. pers.) confirme que ce ne sont pas les mêmes que ceux du Kilian et du Vasset (cf. [15]). La limite entre les ponces trachytiques et les produits de débouillage n'est pas franche (lapilli mélangés au voisinage de l'interface), ce qui suggère une continuité dans les éruptions. Ce lit repose sur des lapilli émoussés déjà signalés par Camus (Fig. 3). Une séquence très semblable à celle-ci a été observée par Camus [4] au puy de l'Aumône (retrouvée récemment). Au-dessus des produits de débouillage qui recouvrent les trachytes à ponces, on trouve des lapilli de trachytes appartenant aux deux types décrits à la Bruyère des Moines, dispersés dans un niveau brun, de consistance plus ou moins argileuse, caractéristique de cet horizon largement répandu dans la chaîne des Puys. Au-dessus, sous l'humus forestier, on trouve un niveau décimétrique de cendres et lapilli à faciès de débouillage, contenant une proportion significative de roches et minéraux du socle. Ce dernier niveau avait été déjà observé par Camus dans ces parages et rattaché par lui au téphra de l'étang de Fung (Mazayes), rapportés par hypothèse à une éruption tardive (vers 4350 ans ?) du puy de Côme ou d'un adventice du Mont-

Origine proposée	Strate
	Sol
?	Lapilli à faciès de débouillage
Kilian	Sol brun à trachytes (type « Bruyère des Moines »)
Pariou	Lapilli à faciès de débouillage de type « Traversin » Lapilli à ponces trachytiques Cendres trachytiques
?	Lapilli d'aspect remanié (nature composite, éléments émoussés)
Côme ou Balmet	Lapilli scoriacés à faciès de saupoudrage (base non observée)

Fig. 3. Représentation schématique et interprétative d'une coupe de terrain au col entre le puy Filhu et le puy Balmet, d'après Camus [4], modifié et complété.

Fig. 3. Schematic representation of the stratigraphy between the Puy Filhu and the Puy Balmet.

chier [4]. Il est à noter que ces deux hypothèses posent problème : les produits du Vasset, au sud, ou du Kilian, au nord, semblent recouvrir partout le Montchier ; dans le cratère sommital du Côme et sur sa couronne ne sont visibles que des produits juvéniles, au-dessus desquels on trouve, rares mais bien présents, des trachytes de type Kilian.

4. Datations

À la Bruyère des Moines, le niveau intermédiaire de lapilli mugéaritiques emballés dans une matrice fine est probablement, pour l'essentiel, le résultat d'un brassage intense de la partie supérieure du niveau de saupoudrage par les turbulences de l'air associées au passage de la déferlante. Mais il peut aussi comprendre une composante de pédogenèse et de solifluxion, auquel cas il témoignerait de l'écoulement d'un laps de temps significatif entre l'éruption du Pariou et la déferlante trachytique. La datation ^{14}C d'un bois carbonisé prélevé à la base du niveau de déferlante a donné : Ly-12117 : 8815 ± 65 BP. Ce résultat est sensiblement plus élevé que les trois déjà disponibles pour Kilian (Tableau 2) ; toutefois, on sait que les distributions d'âges pour une nuée unique peuvent être larges, à l'exemple du Laacher See, vers 11 000 BP, soit 12 900 ans, dont la durée d'éruption est estimée

Tableau 2

Récapitulatif des âges obtenus par la méthode du radiocarbone sur des bois carbonisés échantillonnés dans les déferlantes trachytiques de Vasset, Kilian et Chopine. Âges calibrés, en années réelles (calibration d'après [20]); intervalle de confiance de 95 %

Table 2

Radiocarbon age results for charcoal sampled within the trachytic surge products

Volcan	Site	Auteurs du prélèvement	Publication	Référence	Âge (BP)	Âge calibré
Chopine	site de Vulcania	Vernet et al.	[21]	Arc 1561	8465 ± 70	9610–7330
	carrière de Lantégy	Camus et al.	[5]	Gif 1492	8900 ± 190	10550–9550
	Sud-Ouest du puy de Louchadières	Camus et al.	[5]	Gif 2113	8150 ± 150	9550–8650
	Sud-Ouest du puy de Louchadières	Camus et al.	[4,7]	Gif 2114	8410 ± 150	9800–9050
	carrière de Lantégy	Brousse et al.	[3]	Gif 1501	8200 ± 300	10000–8400
	entre Louchadières et Chopine	Pelletier	[18]	Gif 3638	8760 ± 170	10300–9500
	puy de Tenusset (carrière)	Daugas et Raynal	[18]	Gif 5254	8610 ± 160	10250–9300
	carrière de Lantégy	Camus, De Goër, Montel	inédit	Ly-7439	9042 ± 70	10450–9960
Kilian	col de Ceysat	Camus	[4]	Gif-2118	8150 ± 150	9550–8650
	col de Ceysat	Camus, De Goër, Michon	inédit	Ly-7796	8020 ± 66	9140–8680
	col de Ceysat	Camus, De Goër, Michon	inédit	Ly-7797	8298 ± 84	9540–9080
	la Bruyère des Moines	Miallier	inédit	Ly-12117	8815 ± 65	10250–9650
Vasset	puy de Montchier (face sud)	Brousse et al.	[2]	Gif-486	8540 ± 300	10300–8700
	puy Pelat	Brousse et al.	[2]	Gif 721	8730 ± 300	10700–9000
	cheire de Mercœur	Brousse et al.	[3]	Gif 1498	8400 ± 300	10300–8600
	puy de Laschamp (face sud)	Brousse et al.	[3]	Gif 1499	8200 ± 170	9600–8650
	Sud-Est du puy de Barne	Brousse et al.	[3]	Gif 1500	7850 ± 180	9400–8600

à quelques jours, tandis que la dispersion des âges ^{14}C est de près d'un millénaire [13]. Pour faciliter la discussion, on fera la moyenne pondérée des mesures (avant calibration) pour obtenir une approximation de l'âge du Kilian, soit 8380 ± 40 BP, ce qui, après calibration, donne un âge compris dans l'intervalle [9550–9320] avant nous (2σ). Bien que, en toute rigueur, l'opération de calibration conduise seulement à une distribution de probabilités, on admet, pour la commodité des exposés, que le centre de l'intervalle est une bonne évaluation de l'âge, soit 9430 ± 115 ans (2σ).

La même opération pour le Vasset donne l'âge moyen 8210 ± 100 BP, soit un âge réel de 9270 ± 280 ans. Pour le puy Chopine, la moyenne pondérée, à savoir 8672 ± 40 BP, conduit à un âge moyen de 9700 ± 115 ans. Il faut noter que, dans les trois cas, on fait implicitement l'hypothèse qu'il n'y a eu qu'une seule vague de déferlantes basales brûlant des arbres sur leur passage, en accord avec les observations de Michon [16] pour Vasset et Kilian, et Montiel [17] pour Chopine.

5. Discussion et conclusions

Les données exposées ici confirment d'une façon indépendante les résultats de chronologie dans les tourbes et sédiments, à savoir que la durée totale d'activité des trois volcans trachytiques n'a pas excédé quelques siècles autour du milieu du 10^e millénaire. De plus, ils permettent de proposer une chronologie relative à l'intérieur de cette période. L'âge moyen des « trachytes » (8540 ± 150 BP, soit 9650 ± 550 ans), avait été calculé par Juvigné et al. [12] à partir des âges ^{14}C , mesurés sur tourbe ou macro-restes végétaux, de 16 échantillons distincts (par le site de prélèvement), parfois « mélanges de téphras », mais dans lesquels le Chopine est majoritairement représenté. On peut maintenant préciser que l'ensemble des 16 datations a deux pôles : le puy Chopine, vers 9700 ans environ, et le couple Vasset–Kilian vers 9300–9400 ans.

Le puy de Pariou a ses produits les plus récents recouverts par une nappe de trachytes à amphibole, âgée d'environ 9400 ans, vraisemblablement issue du Kilian. Jusqu'à présent, rien n'a permis de penser que le Côme avait présenté une histoire magmatique et éruptive semblable à celle du Pariou, ce qui permet de proposer l'hypothèse plus simple que la séquence tra-

chytes/produits de débouillage de Filhu–Balmet vient du Pariou. Les trachytes ponceux seraient une forme méconnue auparavant des trachytes du Pariou lui-même (première phase, acide), repérés ailleurs par Camus [4] et El Arabi [8] à la base des horizons de « débouillage ». Ils étaient alors noirs et vitreux, de telle sorte qu'ils n'ont pas été reconnus à Filhu au simple examen visuel. Là, le « rubannement » fréquent signe un mélange et la ponce à composition de trachy-andésite, annonce l'arrivée du magma plus basique qui formera le cône du Nouveau Pariou.

À Gerzat (Grande Limagne), Juvigné et al. [11] ont trouvé le téphra « Taphanel » directement sous-jacent aux produits du Nouveau Pariou, sans sédiment intermédiaire, et ils en déduisent qu'il s'est écoulé un temps très bref entre l'éruption du Chopine et celle du Pariou. Si tel est le cas, l'âge du Pariou serait proche de 9700 ans et, compte tenu de son âge estimé, vers 9300 ans, le Vasset serait donc plus récent, hypothèse à confirmer.

Enfin, la découverte de téphras d'origine inconnue à ce jour (Vernet et al. [22] et D.M., en cours) sur ceux du Chopine suggère que les volcans étudiés ici n'ont pas été les seuls actifs à la même époque – ou qu'ils ont eu un fonctionnement plus complexe (Pariou notamment) que celui actuellement décrit.

Remerciements

Les auteurs sont très reconnaissants à Marie-Madeleine De Goër de Hervé de leur avoir donné accès aux archives de Alain de Goër de Hervé[†], qui a beaucoup contribué à renouveler la réflexion sur le sujet. Pierre Vincent a aimablement fait des vérifications de terrain et relu le manuscrit. T. Danhara (Kyoto Fission Track LTD) a fait de nouvelles analyses d'indices de réfraction, et nous l'en remercions.

Références

- [1] P. Boivin, J.-C. Besson, D. Briot, A. Gourgaud, P. Labazuy, F.D. de Larouzière, M. Livet, J. Mergoil, D. Miallier, J.-M. Morel, G. Vernet, P. Vincent, *Volcanologie de la chaîne des Puys. Parc naturel régional de la chaîne des Puys (Ed.). Carte et fascicule, 4^e édition, 2004 (sous presse).*
- [2] R. Brousse, G. Delibrias, J. Labeyrie, A. Rudel, *Datation par la méthode du carbone 14 d'une éruption domitique de la chaîne des Puys, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D 263 (1966) 1812–1815.*

- [3] R. Brousse, G. Delibrias, J. Labeyrie, A. Rudel, Éléments de chronologie de la chaîne des Puys, *Bull. Soc. géol. France* 11 (1969) 770–793.
- [4] G. Camus, La chaîne des Puys (Massif central français). Étude structurale et volcanologique, thèse, Ann. Univ. Clermont-Ferrand, n° 56, fasc. 28, série «Géologie et Minéralogie», 1975, 322 p.
- [5] G. Camus, A. de Goër de Herve, G. Kieffer, J. Mergoïl, P.M. Vincent, Nouvelle interprétation du système puy Chopine–puy des Gouttes (chaîne des Puys, Massif central français), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D* 277 (1973) 1121–1124.
- [6] G. Delibrias, M.-T. Guillier, J. Labeyrie, Saclay natural radiocarbon measurements, I, *Radiocarbon* 6 (1964) 238–239.
- [7] G. Delibrias, M.T. Guillier, J. Labeyrie, Gif Natural Radiocarbon Measurements, VII, *Radiocarbon* 1671 (1974) 304–307.
- [8] A. El Arabi, Différenciation d'une série alcaline continentale. Exemple du puy de Pariou, rapport de DEA, université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, 1987, 50 p.
- [9] G. Guérin, La thermoluminescence des plagioclases, méthode de datation du volcanisme. Applications au domaine volcanique français : chaîne des Puys, mont Dore et Cézallier, Bas Vivarais, thèse, université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, 1983, 260 p.
- [10] E. Juvigné, Contribution à la téphrostratigraphie du Quaternaire et son application à la géomorphologie, Mémoires pour servir à l'explication des cartes géologiques et minières de la Belgique n° 36, Service géologique de Belgique, 1993, 66 p.
- [11] E. Juvigné, S. Kroonenberg, A. Veldkamp, A. El Arabi, G. Vernet, Widespread Allerød and Boreal trachyandesitic to trachytic tephra layers as stratigraphical markers in the Massif Central, France, *Quaternaire* 3 (1992) 137–146.
- [12] E. Juvigné, B. Bastin, G. Delibrias, J. Évin, M. Gewalt, E. Gilot, M. Streel, A comprehensive pollen and tephra-based chronostratigraphic model for the Late Glacial and Holocene period in the French Massif Central, *Quat. Int.* 35–36 (1996) 113–120.
- [13] E. Juvigné, B. Bastin, G. Delibrias, J. Évin, M. Gewalt, E. Gilot, M. Streel, Chronostratigraphic relationships of tephtras, pollen features, and ^{14}C dates in the French Massif Central and in the Eifel (Germany), in: *Proc. Alfred-Wegener Conference Climate dynamics recorded in long continental high resolution time series since the last Interglacial*, Berlin, 1994, pp. 48–52.
- [14] M.J. Le Bas, R.W. Le Maître, A. Streckeisen, B. Zanettin, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram, *J. Petrol.* 27 (1986) 745–750.
- [15] D. Miallier, S. Sanzelle, T. Pilleyre, G. Vernet, S. Brugière, T. Danhara, Nouvelles données sur le téphra de Sarliève et le téphra CF7, marqueurs chronostratigraphiques de Grande Li-magne (Massif central, France), *C. R. Geoscience* 336 (2004) 1–8.
- [16] L. Michon, Le cratère Kilian et le puy de Vasset : mécanismes éruptifs et distinction des produits proximaux et distaux. Comparaison avec le cratère-lac Pavin et le puy Chopine, Mém. DEA, université Blaise-Pascal, 1996, 20 p.
- [17] N. Montiel, La nappe de recouvrement du puy Chopine, Mé-moire de travail d'étude et de recherche (TER), université Blaise-Pascal, 1997, 59 p.
- [18] J.-P. Raynal, M.M. Paquereau, J.-P. Daugas, Contribution à l'étude chronostratigraphique des formations volcano-sédimentaires de la chaîne des Puys, *Nouv. Rech. Mus. Hist. Nat. Lyon* 19 (suppl.) (1981) 59–64.
- [19] J.-P. Raynal, D. Miallier, G. Vernet, J. Fain, G. Camus,, M. Montret, J.-P. Daugas, S. Sanzelle, Extension de la dation par thermoluminescence à une retombée trachyandésitique rapportée au puy de Pariou (chaîne des Puys, France), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 308 (1989) 1547–1552.
- [20] M. Stuiver, P.J. Reimer, E. Bard, G.S. Burr, J.W. Beck, K.A. Hughen, B. Kromer, G. McCormac, J. van der Plicht, M. Spurk, *INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24000–0 cal BP*, *Radiocarbon* 40 (3) (1998) 1041–1083.
- [21] G. Vernet, J.-P. Raynal, Un cadre téphrostratigraphique réac-tualisé pour la préhistoire tardiglaciaire et holocène de Li-magne (Massif central, France), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIa* 330 (2000) 399–405.
- [22] G. Vernet, J.-P. Raynal, G. Kieffer, G. Camus, J.-L. Guadelli, D. Vivent, D. Miallier, S. Sanzelle, T. Pilleyre, J. Fain, M. Mon-tret, L'éruption du puy Chopine (Puy-de-Dôme, France) : im-pacts proximaux et distaux et implications éco-archéologiques, in: *Téphras, Actes du symposium INQUA–UISPP, Le Puy-en-Velay, 24–29 août 1998*, Éditions CDRAD, 43150 Goudet, France, 2001, pp. 227–234.