



Géomatériaux

Nouvelles données sur le téphra de Sarliève et le téphra CF7,
marqueurs chrono-stratigraphiques de Grande Limagne
(Massif central, France)

Didier Miallier^{a,*}, Serge Sanzelle^a, Thierry Pilleyre^a, Gérard Vernet^{b,c},
Sarah Brugière^a, Tohru Danhara^d

^a Laboratoire de physique corpusculaire, université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand-2, IN2P3/CNRS, 24, av. des Landais,
63177 Aubière cedex, France

^b Inrap, 19, rue Élisée-Reclus, 63000 Clermont-Ferrand, France

^c « Géodynamique des milieux naturels et anthropisés », UMR 6042 CNRS, université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand-2, 4, rue Ledru,
63057 Clermont-Ferrand cedex 1, France

^d Kyoto Fission Track Company, Ltd 44-4 Minami-Tajiricho, Kita-ku, Kyoto 603-8832, Japon

Reçu le 22 avril 2003 ; accepté le 28 octobre 2003

Présenté par Zdenek Johan

Résumé

Un téphra trachytique découvert dans les sédiments de l'ancien lac de Sarliève, en Grande Limagne, a été daté par thermoluminescence. L'âge obtenu, 16 ± 4 ka (2σ), est plus élevé que celui des volcans trachytiques de la chaîne des Puys, dont des retombées distales sont actuellement reconnues dans la région. Son analyse confirme son originalité. Dans le cadre des comparaisons faites pour rechercher sa source, il apparaît que le téphra à large dispersion CF7, auparavant rapporté par hypothèse au puy de Clierzou, est très probablement originaire du cratère Kilian ou du puy de Vasset. *Pour citer cet article : D. Miallier et al., C. R. Geoscience 336 (2004).*

© 2003 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Chronological and mineralogical data about the Sarliève tephra and the CF7 tephra, chronostratigraphical marks in Grande Limagne (Massif Central, France). A trachytic tephra, discovered in the ancient lake of Sarliève, 'Grande Limagne', has been dated using the thermoluminescence technique. The obtained age, 16 ± 4 ka (2σ), is older than that of the trachytic volcanoes of the Chaîne des Puys, the ashes of which have already been locally recognised in the region. Its analysis confirms its originality. In the course of the comparisons made to search for its spring, it appears that the wide-dispersion tephra CF7, beforehand correlated by hypothesis to the Puy de Clierzou, probably originates from the Kilian crater or the Puy de Vasset. *To cite this article: D. Miallier et al., C. R. Geoscience 336 (2004).*

© 2003 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : trachyte ; téphra ; thermoluminescence ; minéralogie ; radioactivité ; indices de réfraction

Keywords : trachyte ; tephra ; thermoluminescence ; mineralogy ; radioactivity ; refractive index

* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : miallier@clermont.in2p3.fr (D. Miallier), sanzelle@clermont.in2p3.fr (S. Sanzelle), pilleyre@clermont.in2p3.fr (T. Pilleyre), vernet.gg.b@wanadoo.fr (G. Vernet).

Abridged English version

A trachytic tephra, with the aspect of a horizontal pink layer of thin ashes, 3.5 cm thick, was found at around 2 m below the soil surface in the sediments that fill the ancient lake of Sarliève. The lake was emptied for the last time (the site has not always been under water) during the 17th century, and is dry since. The tephra overlaps sediments that contain another layer of characteristic trachyandesitic volcanic ashes, locally known as CF1, which have been previously attributed to the volcano La Nugère, dated to $13\,700 \pm 400$ years (2σ) [4].

In the present work, the trachytic Sarliève tephra was dated using the quartz-inclusion TL technique [11,19,22]. The mean age result, 16 ± 4 ka (2σ), is older than the age evaluated for CF1. However, the large error limits allow us to assume, for stratigraphical consistency, that the eruption took place not long before around 12–14 ka ago.

In any case, the Sarliève trachytic tephra is too old for originating from one of the hitherto dated trachytic volcanoes, Chopine, Vasset, Kilian, Puy de Dôme, the ashes of which have already been locally recognised [23].

The singularity of the Sarliève trachytic tephra is also shown by mineralogy, including refractive index analysis (Fig. 3) and heavy mineral analysis. Inter-comparison was performed between various trachytic lavas sampled either on volcanoes or in distant tephra layers. None of the seven trachytic volcanoes of the Chaîne des Puys shows evident compatibility with the Sarliève tephra. One can finally assess that this trachyte should be considered as a new tephrostratigraphic marker, around 12–14 ka old, the origin of which still has to be determined.

In the course of the comparisons between the different lavas, was included a trachytic tephra, CF7, that can be observed in a widespread area, either in the Limagne plain or on the Chaîne-des-Puys plateau [24, 25]. CF7, which is characterized by small lumps of trachyte, is always found in the most recent strata of the sediments, in some occurrences, above the ashes from the volcano Pariou, which was hitherto considered as the youngest volcano of the north of the Chaîne des Puys [6]. Three scattered ^{14}C ages correlated with CF7 resulted in an averaged age of around 9 ka [23, 24]. CF7 had been tentatively attributed to the Clierzou

volcano, the age of which is still ignored, situated in the centre of the chain [4,23]. However, in the present work, significant differences were observed. Particularly, the refractive index analysis (Fig. 3) shows incompatibility between both lavas. On the other hand, tephrostratigraphy indicated that the Pariou is younger than the Clierzou [6]. Thus, the above observations allow us to assess that the Puy de Clierzou volcano is not at the origin of CF7.

On the other hand, refractive index analysis shows clear similarities between the lavas of Vasset, Kilian and CF7 (Fig. 3). The visual aspect of the three volcanic products also suggests strong relation: they all comprise lumps of either grey, dense lava ($d \sim 2.5$) or grey, yellowish ‘mossy’ lava ($d \sim 1.5$), that exhibit phenocrysts of feldspars and brown amphibole.

We then come to the final assumption that CF7 belongs to the ashes spread by the more recent of the two, Kilian or Vasset. This improves the position of CF7 as a stratigraphical marker at around 9300 ka and has implications on the knowledge of the eruptive dynamics of these volcanoes.

1. Le téphra de Sarliève

Un téphra a été repéré à deux mètres de profondeur, au cœur des sédiments lacustres de Sarliève [24] (Fig. 1). C’est un lit de cendres (3,5 cm) rose pastel à composition de trachyte (Tableau 1). Il est situé au-dessus (2 à 2,5 m) d’une retombée connue, CF1, attribuée au puy de la Nugère (20 km au nord-ouest). L’âge de CF1 est $13\,700 \pm 400$ ans (2σ) (moyenne, d’après [21,24,26]). Le téphra trachytique ressemble (aspect, stratigraphie) à celui de la rue Sousles-Vignes à Clermont-Ferrand, (ci-après : CF5), situé vers la transition Boréal/Atlantique et rapporté au cratère Kilian ou au puy de Vasset [25] (tous deux situés 17 km à l’ouest), âgés respectivement de 9180 ± 140 et 9280 ± 280 ans (compilations à paraître dans [4]). Toutefois, CF5 a une composition plus acide (rhyolite) [25].

2. Datation directe par la thermoluminescence (TL) du quartz

Le matériau contient du quartz, minéral qui possède de bonnes propriétés TL. Il s’y présente sous

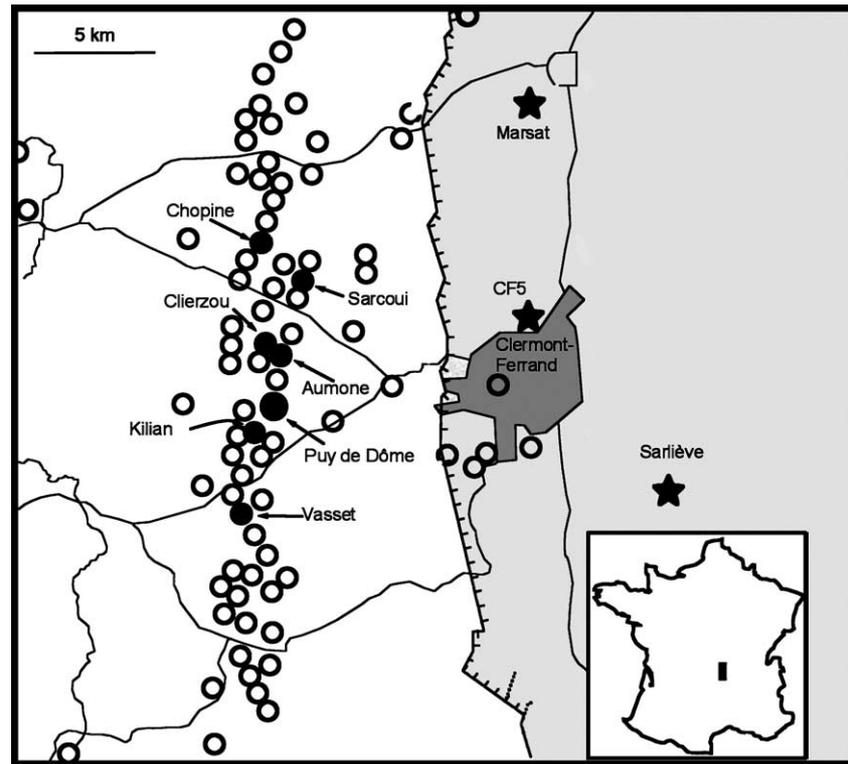


Fig. 1. Carte schématique de la chaîne des Puys (d'après [4]). Les dômes et protrusions trachytiques sont indiqués par des ronds noirs, les autres volcans par des ronds blancs. La plaine sédimentaire de Limagne est en grisé.

Fig. 1. Schematic map of the Chaîne des Puys (from [4]). Black dots indicate trachytic domes and protrusions; open circles represent other volcanoes. The Limagne plain is in grey.

Tableau 1

Composition du téphra de Sariève et de la lave du Grand Sarcouy (**m** : roche massive ; **b** : brèche datée) ; analyses roche totale, valeurs normalisées à 100 % (perte au feu Pérignat = 3,4 % ; Sarcouy b = 0,4 %)

Table 1

Major elements composition of the Sariève tephra and of the lava from Grand Sarcouy (**m**: massive lava; **b**: breccia that was dated)

Élément	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	Référence analyse
Sariève	64,38	16,96	3,06	0,13	1,19	3,73	5,16	4,73	0,50	0,14	CRPG 0104890
Sarcouy (m)	64,71	17,1	3,01	0,22	0,67	1,8	6,58	4,82	0,42	0,15	[12]
Sarcouy (b)	65,0	17,9	3,1	0,21	0,73	1,79	6,05	4,67	0,43	0,2	CRPG 0302391

deux formes, qui ont pu être imparfaitement séparées l'une de l'autre par densité : une forme limpide, la plus dense, et une forme d'aspect opalescent, contenant des impuretés. L'évaluation de la « paléodosse », dose d'irradiation reçue depuis la remise à zéro par chauffage, a été obtenue par la « TL rouge » (mesurée vers 620 nm) [11, 19, 20, 22]. Le pic principal est mieux défini et moins dispersé pour les quartz limpides que

pour les autres, avec une forme et un comportement « classiques » [16, 20], mais on ne relève pas de différence significative dans les deux paléodoses évaluées.

La dose d'irradiation annuelle (Tableau 2) a été évaluée par analyse des radioéléments (spectrométrie γ), mesure de la radioactivité in situ (scintillateur NaI), calcul du rayonnement cosmique [21] et des facteurs correctifs [9, 15, 20]. Elle repose sur la base de

Tableau 2

Données de base (roche totale) du téphra de Sarliève pour l'évaluation de la dose d'irradiation annuelle des grains de quartz (100–315 μm), d'après [1]

Table 2

Dosimetric data that were measured and used for the purpose of TL dating of the Sarliève tephra (after [1])

^{238}U (ppm)	^{232}Th (ppm)	$^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$	Dose annuelle γ in situ (mGy an^{-1})	Teneur en eau in situ (% massique)	Dose annuelle cosmique (mGy an^{-1})
$5,7 \pm 0,4$	$20,2 \pm 0,3$	1,1	$1,16 \pm 0,06$	23 %	$0,15 \pm 0,03$

l'Actuel ; or, elle a varié dans le passé, car les sédiments se sont progressivement accumulés et il y a eu des fluctuations de l'humidité. Le lac de Sarliève, asséché au XVII^e siècle, avait auparavant connu des phases successives de hautes et basses eaux (par exemple, un drainage à l'époque gauloise). L'eau dilue l'irradiation, mais, en outre, elle peut véhiculer des radioéléments en solution ou associés à des particules fines. Ces effets, difficilement quantifiables, sont comptabilisés par un élargissement de l'incertitude (détails dans [5]).

L'âge TL obtenu est 16 ± 4 ka (2σ) (Cler.325). Pour tenir compte de l'ordre stratigraphique (par rapport à CF1), il faut faire l'hypothèse que l'on se situe dans la partie récente de l'intervalle de confiance : le téphra proviendrait d'une éruption qui s'est produite il y a 12 à 14 000 ans. Cet âge est plus vieux que celui des quatre volcans trachytiques, Kilian, Vasset, Chopine et puy de Dôme, dont des retombées distales sont connues dans la région et dont le plus ancien, le puy de Dôme, a entre 11 000 et 12 000 ans [7,8,14].

3. Comparaisons avec les trachytes connus localement

La radioactivité, mesurée pour les besoins de la datation TL, peut être un élément de comparaison. On a reporté sur la Fig. 2 la teneur en ^{226}Ra et en ^{232}Th pour des trachytes prélevés sur sept volcans de la chaîne des Puy ou bien en position distale. Les résultats semblent rattacher Sarliève au groupe de radioactivité la plus élevée : Sarcouy, Chopine et téphras de Marsat, attribués au Chopine [27].

Sur une lame mince de grand format, le téphra de Sarliève apparaît comme globalement homogène et sans perturbation. Les limites du lit sont nettes. Il s'agit d'une retombée en position primaire. L'observation ($\times 40$) permet d'y distinguer deux parties. La

partie inférieure (26 mm d'épaisseur), homogène et compacte, avec un microlitage discret, montre une matrice vitreuse transparente, avec des microcristaux leucocrates (feldspaths, apatite et quartz) et de rares microcristaux de biotite, magnétite et clinopyroxène vert. La partie supérieure (8 mm), moins homogène, montre des grains de lave arrondis non vésiculés, riches en microcristaux leucocrates, dans une matrice de minéraux libres et de microfragments laviques. Cette matrice présente une légère carbonatation (microcristallisation de calcite), en accord avec un léger enrichissement en CaO par rapport à un trachyte (Tableau 1). Ce microfaciès est comparable à celui du téphra CF5 (cf. Section 1), avec cependant des différences dans le cortège minéral : le quartz n'apparaît pas dans CF5 ; l'amphibole brune, observée dans CF5, n'est pas présente à Sarliève.

Le cortège des minéraux denses de Sarliève montre la présence quasi exclusive (hormis des opaques non déterminables) du clinopyroxène vert à brun. Le plus souvent sous la forme d'éclats, il présente aussi quelques individus automorphes en prisme, avec une gangue vitreuse (*bubble-wall texture* [10]). Ce cortège est différent de celui de CF5. En effet, ce dernier est bien dominé par un clinopyroxène vert en éclats (55 %) mais on y trouve également du zircon (16 %), de l'amphibole brune (14 %), de l'apatite (10 %), de l'olivine (4 %) et du clinopyroxène brun (0,7 %) [25]. Les produits du Chopine se distinguent de ceux de Sarliève, notamment par la présence du sphène et par la chimie (rhyolite) [4].

Pour compléter ces analyses, une mesure des indices de réfraction des minéraux transparents a été effectuée (Fig. 3) : le téphra de Sarliève se distingue de tous les autres trachytes, et particulièrement de Vasset et Kilian, auxquels on aurait pu le rattacher avant analyse (par CF5 interposé). La retombée trachytique de Sarliève paraît donc originale par rapport à celles déjà

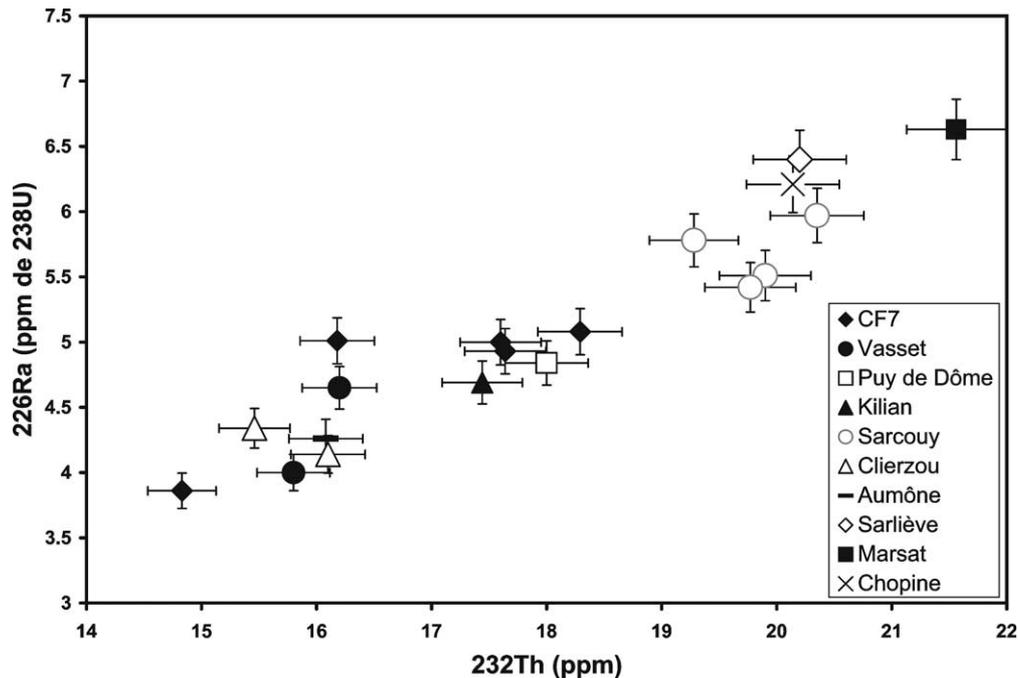


Fig. 2. Teneurs en ^{232}Th et en ^{226}Ra pour différents trachytes de la chaîne des Puys. La teneur en ^{226}Ra est exprimée en équivalent ^{238}U , à l'équilibre. Pour une lave donnée, les différents points correspondent à des sites de prélèvement distincts. L'échantillon Sarliève est une cendre. Les autres sont de la roche massive, qui peut être un fragment centimétrique (CF7) ou décimétrique (Marsat, Vasset, Kilian). Vasset et Kilian proviennent de la proximité immédiate du volcan (respectivement puy de Beaune et col de Ceyssat). Clierzou : grottes-carrières face sud ; Aumône : grottes-carrières ; Sarcouy : carrières face est (une lave massive et 3 fragments centimétriques provenant des brèches) ; Chopine : sommet de la protrusion.

Fig. 2. ^{232}Th and ^{226}Ra contents for various trachytic samples from the Chaîne des Puys; some of them were sampled on the volcanoes themselves, or in close vicinity (i.e., Vasset, Kilian, Clierzou, Aumône, Sarcouy); other are distant tephra (CF7 and Marsat).

rencontrées ailleurs et par rapport aux volcans connus eux-mêmes.

4. Origine du téphra de Sarliève ?

Des rapprochements existent entre le téphra de Sarliève et le Sarcouy (Tableau 1 et Fig. 2), daté de $12\,800 \pm 1400$ ans [12,17]. Cette période présente un recouvrement avec celle proposée pour le dépôt du téphra de Sarliève. De plus, le quartz extrait des produits explosifs initiaux du Sarcouy, en vue de leur datation par TL, s'y trouve sous les deux formes distinctes observées à Sarliève. Les indices de réfraction ne sont pas très éloignés les uns des autres (Fig. 3). Ces données nous ont incités à mener plus loin la comparaison.

Plusieurs analyses de minéraux lourds (non opaques, dans la fraction 100–200 μm) des produits proxi-

maux du Sarcouy ont été réalisées : trois sur la lave massive échantillonnée à l'est (anciennes carrières) et au sud (grotte sommitale) du dôme, et deux sur des produits explosifs antérieurs au dôme (anciennes carrières est). La lave massive est très pauvre en lourds (moins de 0,5 % en masse). Avec des variations locales, le cortège est dominé par la biotite, puis par l'amphibole brune (à l'est) ou le zircon (grotte) ; viennent ensuite l'apatite et, enfin, de rares clinopyroxènes verts. Les brèches (1,1 % de lourds) contiennent majoritairement de la biotite, de l'apatite et du zircon, suivis d'un clinopyroxène vert, puis, en très faible proportion, d'olivine, de sphène et d'amphibole brune. La différence lave/brèches témoigne peut être d'une évolution minéralogique au cours de l'histoire éruptive du volcan et, d'une façon certainement très marginale, d'une contamination pendant la phase initiale de débouillage. L'amphibole est donc rare, comme observé

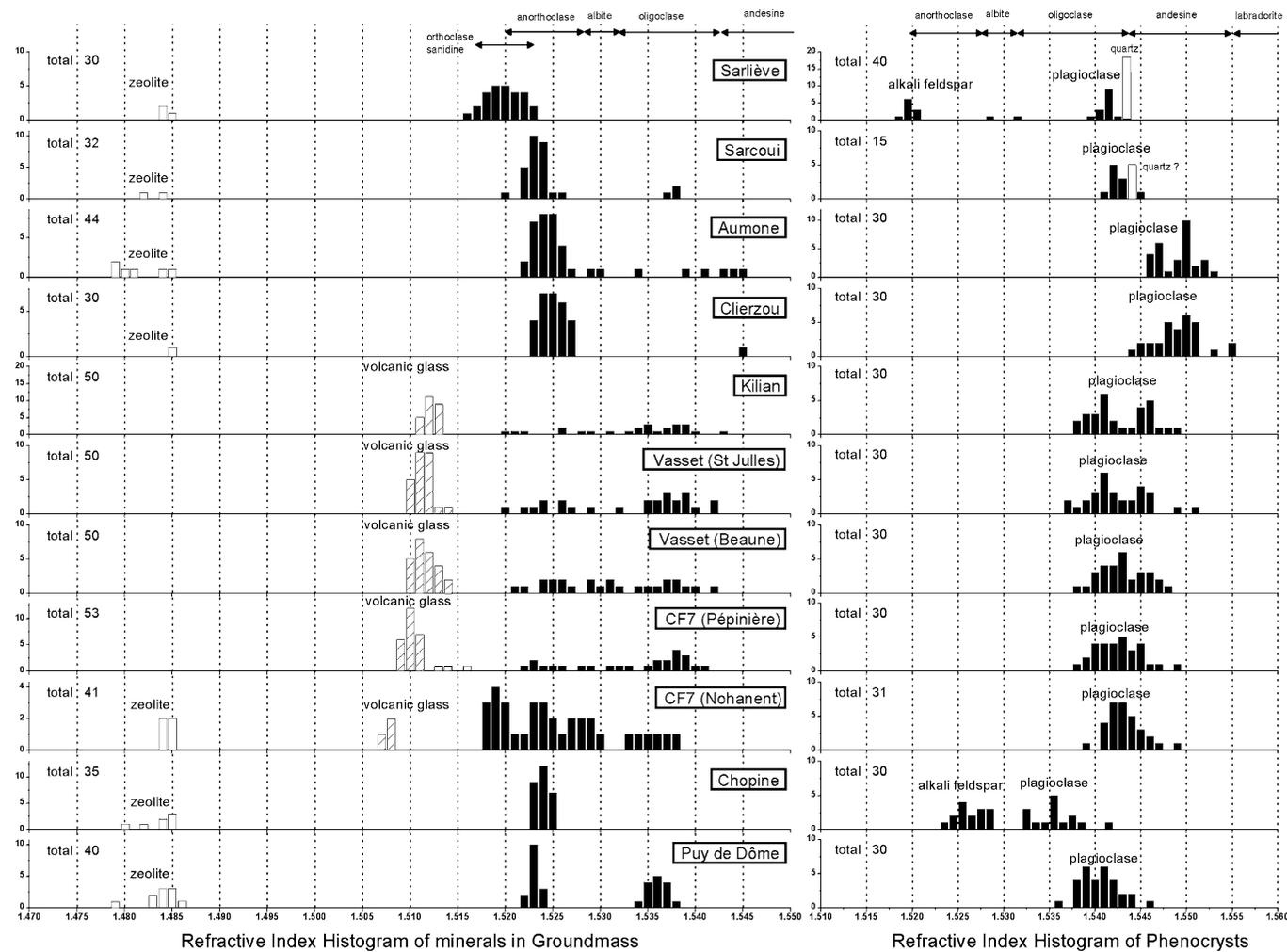


Fig. 3. Indices de réfraction pour les minéraux transparents des trachytes prélevés en position distale (Vasset/Saint-Julles et CF7) ou sur les volcans eux-mêmes (tous les autres). Pour les minéraux uniaxes (quartz), ou biaxes (plagioclase, feldspath alcalin, zéolithe), la différence des indices est généralement très faible ; le cas échéant, la valeur donnée est la plus faible ($= n_0$). Deux différentes variétés minéralogiques peuvent être parfois non séparées physiquement ; dans ces cas, deux indices ont été donnés (analyse : Tohru Danhara, Kyoto Fission Track Ltd). Le nombre de minéraux mesurés est indiqué à gauche des diagrammes.

Fig. 3. Refractive indexes for the transparent minerals extracted from various trachytic samples from the Chaîne des Puys. They were taken either on the volcanoes or in distant tephra layers. On the left of the diagrams, number of analysed minerals.

par Arnaud [2], mais non totalement absente, ainsi que l'ont écrit plusieurs auteurs depuis Bentor [3], qui avait probablement observé en lame mince, méthode défavorable aux espèces peu abondantes. Ces cortèges sont différents de celui du téphra de Sarliève. Donc, en gardant à l'esprit, d'une part, que les cendres distales sont l'objet d'un vannage se traduisant dans leur chimie globale et leur minéralogie (cf. discussion par Juigné [13]) et, d'autre part, que les comparaisons minéralogiques lave massive/cendres sont biaisées (entre autres par les effets mécaniques du broyage), on peut conclure que la question de l'origine de ce téphra reste ouverte. Les produits explosifs initiaux du Sarcouy semblent toutefois présenter avec le téphra de Sarliève des incompatibilités moins fortes que les autres produits trachytiques de la chaîne des Puys.

5. Le téphra CF7

Vernet a trouvé, en Limagne et au nord du plateau des Dômes, des nodules de trachyte (CF7), en position stratigraphique plus haute que toutes les retombées connues dans cette région, dont celles du Pariou [23, 24]. De plus, au pied même du Pariou, sur sa grande coulée orientale, a été observée une retombée de déferlante composée de produits de même nature que CF7 (mais plus gros, jusqu'à 360 g) [4]. Le téphra CF7, auquel la chronostratigraphie donne un âge de 9000 ans environ, avait été attribué au puy de Clerzou [23,24], hypothèse remise en question aujourd'hui pour les raisons suivantes.

Le Pariou est plus récent que le Clerzou (plages de cendres du premier sur le second [6]). Le Clerzou peut, en outre, être différencié de CF7 sur la base des minéraux transparents (Fig. 3) et d'autres arguments minéralogiques : pour mémoire, le trachyte des grottes-carrières au sud du Clerzou montre deux formes minéralogiques originales non rencontrées dans CF7 : une magnétite en microbilles et un oxyde (FeTi) présentant une cristallisation lacunaire « en lanterne », abondant, qui pourrait en faire un marqueur de ce volcan.

A contrario, l'analyse des indices de réfraction montre une parenté certaine entre Kilian, Vasset et CF7. Cette parenté est aussi inspirée par l'aspect du matériau, qui présente deux formes : trachyte gris, dense ($d \sim 2,5$), ou trachyte vésiculé ($d \sim 1,5$) gris-

jaune, à phénocristaux de plagioclase et amphibole, et par sa chimie. On ne sait pas distinguer les laves du Kilian de celles du Vasset [18] ; sur le plateau des Dômes, l'ensemble Vasset–Kilian–CF7 reste donc indifférencié. En revanche, en Limagne, CF7 peut se trouver dans une même coupe que CF5 ; il est alors au-dessus. On proposera donc l'hypothèse qu'il y a 9200–9300 ans, après la dernière éruption du Pariou, un volcan, Vasset ou Kilian, a répandu des produits explosifs, dont fait partie CF7, sur une aire très vaste. On dispose ainsi d'un très bon marqueur chronostratigraphique, parallèlement à une information intéressante du point de vue de la volcanologie.

Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre du GDR du CNRS n° 1122 « Hommes et Volcans avant l'Histoire ». Nous remercions Yoshihiro Ganzawa (Hokkaido University) pour l'aide précieuse qu'il nous a apportée pour l'analyse des indices de réfraction.

Références

- [1] G. Adamiec, M. Aitken, Dose-rate conversion factors: update, *Ancient TL* 16 (2) (1998) 37–50.
- [2] N. Arnaud, Les éruptions trachytiques de la chaîne des Puys (Massif central français). Apport de l'étude des enclaves congénères à l'évolution des magmas trachytiques, Mém. DEA, université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand-2, 1989, 33 p.
- [3] Y.K. Bentor, La chaîne des Puys (Massif central français), Recherches géologiques et pétrographiques, Bull. Serv. Carte géol. France LII 242 (1955).
- [4] 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 (éd.), Carte et fascicule, 4^e éd., 2003 (à paraître).
- [5] S. Brugière, Mém. DEA, université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand-2, 2001.
- [6] G. Camus, A. De Goër, G. Kieffer, J. Mergoil, P.M. Vincent, Volcanologie de la chaîne des Puys, Parc naturel régional de la chaîne des Puys (éd.), Carte et fascicule, 3^e éd., 1991.
- [7] M. Condomines, Dating recent volcanic rocks through ^{230}Th – ^{238}U disequilibrium in accessory minerals: example of the Puy de Dôme (French Massif Central), *Geology* 25 (4) (1997) 375–378.
- [8] J. Faïn, H. Erramli, D. Miallier, S. Sanzelle, Datation d'un appareil volcanique trachytique par la thermoluminescence : le Puy-de-Dôme, *Cah. Quat., CNRS* 16 (1991) 53–62.

- [9] J. Faïn, S. Soumana, D. Miallier, M. Montret, T. Pilleyre, S. Sanzelle, Beta-dose attenuation for various shapes calculated by a Monte-Carlo method, *Quat. Geochronol.* 18 (1999) 231–234.
- [10] R.V. Fisher, Bubbles-wall texture and its significance, *J. Sediment. Petrol.* 33 (1) (1963) 224–235.
- [11] S.J. Fleming, Thermoluminescence dating: refinement of the quartz inclusion method, *Archaeometry* 12 (1970) 133–147.
- [12] J. Guittet, Géochimie isotopique Sr et Nd des trachytes de la chaîne des Puys, Mém. DEA, université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand-2, 1996, 30 p.
- [13] 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.
- [14] E. Juvigné, M. Gewalt, La narse d'Ambois comme téphrostratotype dans la chaîne des Puys méridionale (France), *Bull. Assoc. Fr. Ét. Quat.* 1 (1987) 37–49.
- [15] V. Mejdahl, Thermoluminescence dating: beta-dose attenuation in quartz grains, *Archaeometry* 21 (1979) 61–73.
- [16] D. Miallier, J. Faïn, M. Montret, T. Pilleyre, S. Sanzelle, S. Soumana, Properties of the red TL peak of quartz relevant to thermoluminescence dating, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* 18 (1–2) (1991) 89–94.
- [17] D. Miallier, M. Condomines, T. Pilleyre, S. Sanzelle, J. Guittet, Concordant thermoluminescence and ^{238}U – ^{230}Th ages for a trachytic dome (Grand Sarcoui) from the Chaîne des Puys (French Massif Central), *Quat. Sci. Rev.* (sous presse).
- [18] 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.
- [19] T. Pilleyre, M. Montret, J. Faïn, D. Miallier, S. Sanzelle, Attempts at dating ancient volcanoes using the red TL of quartz, *Quat. Sci. Rev.* 11 (1992) 13–17.
- [20] T. Pilleyre, Datation par thermoluminescence : application à la chronologie des retombées volcaniques, thèse, université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, 1991, 160 p.
- [21] J.R. Prescott, J.T. Hutton, Cosmic contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term variations, *Radiat. Meas.* 23 (1994) 497–500.
- [22] S. Sanzelle, D. Miallier, T. Pilleyre, J. Faïn, M. Montret, A new slide technique for regressing TL/ESR dose response curves, *Radiat. Meas.* 26 (4) (1996) 631–638.
- [23] G. Vernet, J.-P. Raynal, Un cadre téphrostratigraphique réactualisé pour la préhistoire tardiglaciaire et holocène de Limagne (Massif central, France), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIa* 330 (2000) 399–405.
- [24] G. Vernet, J.-P. Raynal, Éruptions trachytiques de la chaîne des Puys (France) et leur impact sur les environnements, in : *Hommes et Volcans, de l'éruption à l'objet, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°2*, Éditions CDERAD, 43150 Goudet, France, 2002.
- [25] G. Vernet, J.-P. Raynal, D. Vivent, La téphra de la rue Sous-les-Vignes, marqueur en Limagne du volcanisme trachytique postglaciaire de la chaîne des Puys, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIa* 323 (1996) 325–331.
- [26] G. Vernet, J.-P. Raynal, D. Miallier, T. Pilleyre, S. Sanzelle, J. Faïn, M. Montret, La retombée de la Moutade, marqueur stratigraphique de l'Alleröd en Limagne septentrionale (Massif central, France), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 310 (1990) 1077–1082.
- [27] G. Vernet, J.-P. Raynal, G. Kieffer, G. Camus, J.-L. Guadelli, D. Vivent, D. Miallier, S. Sanzelle, T. Pilleyre, J. Faïn, M. Montret, L'éruption trachytique du puy Chopine (Puy-de-Dôme, France) : impacts proximaux et distaux et implications archéologiques, in : *Téphras*, Éditions CDERAD, 43150 Goudet, 2001, pp. 227–234.