

Qui a vu quoi ?

Un essai de calendrier éruptif pour Néanderthal et Sapiens en Velay-Vivarais.

JEAN-PAUL
RAYNAL
EMMANUELLE
DEFIVE

Jean-Paul Raynal* et Emmanuelle Defive**

*Université de Bordeaux, CNRS, UMR 5199 PACEA, Pessac (France) et Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Leipzig (Germany)

** Université Clermont-Auvergne, CNRS, Université de Limoges, GEOLAB – F-63000 Clermont-Ferrand, France

Les humains vivent au contact des volcans actifs depuis leurs origines africaines, mais le récit classique de ce compagnonnage est l'œuvre de Pline le Jeune (107-108 de notre ère) à propos de l'éruption du Vésuve et de la destruction de Pompéi et Herculaneum en l'an 79 de notre ère). On a postulé depuis que les humains furent effectivement témoins d'éruptions plus anciennes, préhistoriques, mais la contemporanéité formelle de la présence humaine et des éruptions datées reste le plus souvent conjecturale du fait des incertitudes des mesures d'âge, même si le bon sens laisse à penser que ce fut bien le cas.

Pour la période qui nous intéresse, qui vit le plein essor de Néanderthal puis son remplacement par les humains modernes, des sites préhistoriques à coup sûr contemporains du volcanisme existent dans les différentes provinces volcaniques européennes : certains sont installés sur les volcans eux-mêmes ; d'autres, plus éloignés, ont enregistré l'arrivée de téphras de diverses natures (crypto-téphras, cendres, lapillis, ponces, nuées de tous types, etc.).

En Italie par exemple, des cendres du volcan de Roccamonfina datées de 345 ± 6 milliers d'années (ka) ont livré des empreintes de pas humaines (Scaillet *et al.*, 2008) tandis que le crâne fossile de Ceprano, au statut controversé, est surmonté par une retombée datée à 353 ± 4 ka (Nomade *et al.*, 2011). Plus tardivement, l'éruption de l'ignimbrite campanienne a

envahi les grottes entre Salerno et Policastro (Kieffer *et al.*, 2000), dévasté les biotopes des derniers Néanderthaliens (Fedele *et al.*, 2002) et déposé ses produits jusqu'en Ukraine (Hoffecker *et al.*, 2008).

En Allemagne, dans la moyenne vallée du Rhin, de nombreux sites paléolithiques ont été affectés par les produits du volcanisme de l'Eifel (Bosinski, 1986) et un des rares fossiles de Néanderthalien ancien a été trouvé à Wannan-Ochtendung dans une formation volcanique (Von Berg, 1997a et b) et daté vers 180-190 ka (Richter *et al.*, 2017).

En France et plus particulièrement en Auvergne-Rhône-Alpes, des téphras en relation directe avec des occupations préhistoriques – datées du Paléolithique supérieur et de l'Épipaléolithique – ont été signalés dans le Puy-de-Dôme (Vernet et Raynal, 1995 ; Vernet *et al.*, 2000 ; Pasty *et al.*, 2018) et en Haute-Loire (Raynal *et al.*, 2014).

Qu'en est-il en Ardèche, où les volcans participent à l'arrière-plan montagneux des paysages préhistoriques des basses terres ? Dans la suite de cet exposé, nous restreignons notre propos aux « jeunes volcans d'Ardèche » (Berger, 2007) c'est-à-dire à la province volcanique du Bas Vivarais dont les édifices s'égrainent des hauts plateaux au fond des vallées (figure 1), et revisitons la téphrostratigraphie régionale des deux cents derniers millénaires afin de déterminer « qui a bien pu voir quoi ? »

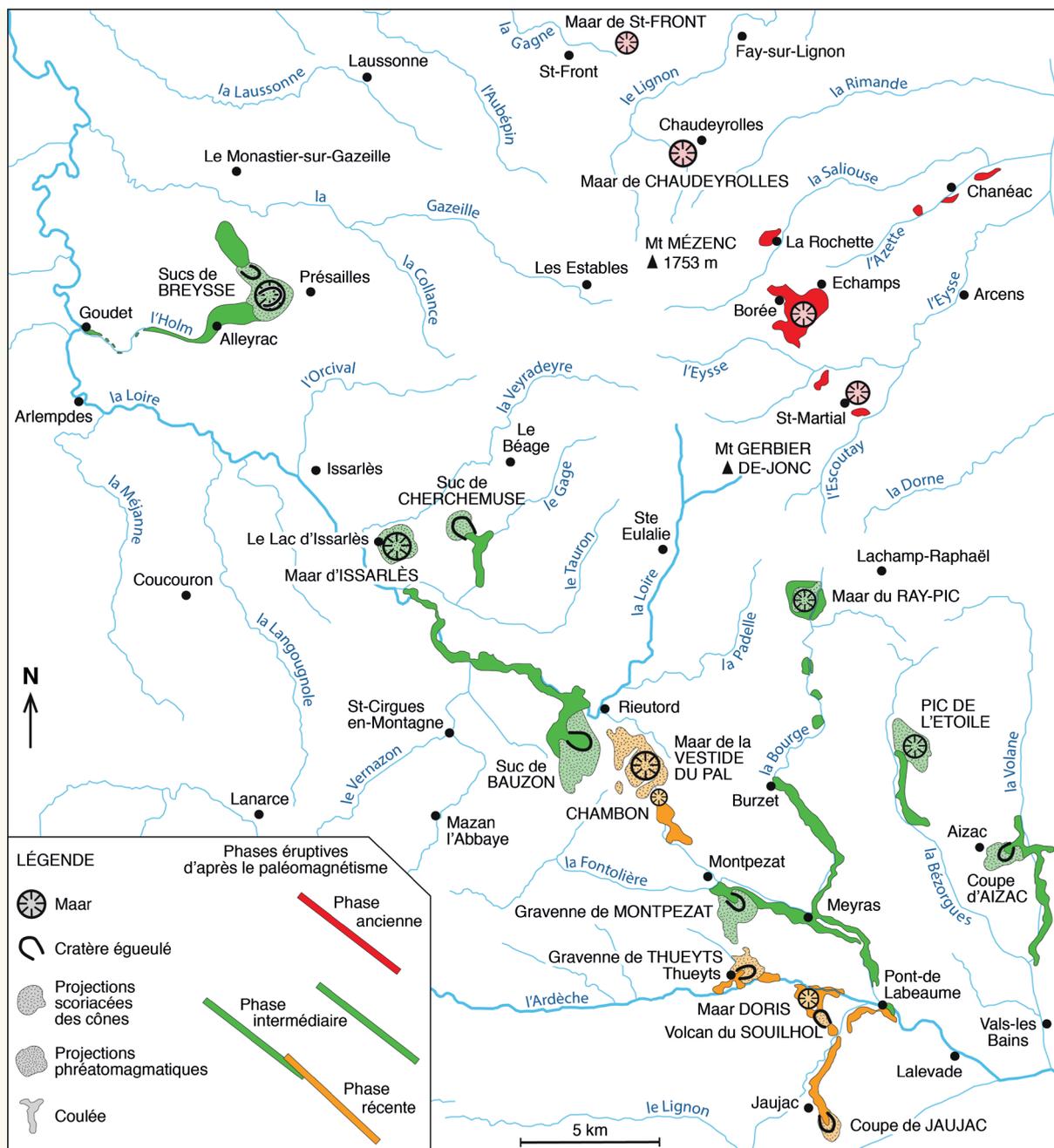


Figure 1 : Localisation, typologie et chronologie des édifices rattachés au volcanisme du Bas-Vivarais (d'après Rochette, 1993, modifié et complété).

UNE RÉGION-CLÉ À L'ORIGINE DES IDÉES MODERNES SUR LE VOLCANISME

Les jeunes volcans du Bas-Vivarais ont depuis fort longtemps attiré l'attention, nourri les réflexions sur les phénomènes volcaniques et leurs âges supposés et contribué de manière significative à l'élaboration des théories sur leurs dynamismes et leurs produits. Faujas de Saint-Fond (1778) et Giraud-Soulavie (1780a) furent les premiers à jeter les bases de la volcanologie régionale, décrivant les formes volcaniques conservées et commentant leur fraîcheur ; le second établit d'ailleurs la première carte des volcans du Vivarais en posant les principes élémentaires de chronologie relative des formations géologiques (1780b). Ils furent suivis par Lacoste de Plaisance (1803), Bertrand-Roux (1823) qui décrit les différentes époques

éruptives vellaves et par Poulett Scrope (1827) qui présenta une vision d'ensemble du Massif central. Leurs diverses observations et opinions sur la question furent synthétisées par Huot dans le Dictionnaire de Géographie physique de l'Encyclopédie méthodique (Desmarests *et al.*, 1828). Contribuèrent ensuite - entre autres et à des degrés divers - Burat (1833), Forbes (1850) avec une carte des formations volcaniques du Vivarais plus détaillée que celle de Giraud-Soulavie, Dalmas (1852, 1872), Poulett Scrope (1844, 1858, 1863), Pascal (1865) avec une carte géologique de la Haute-Loire, Lecoq (1867), Tournaire (1870), Dalmas (1872), Francus (1878, 1882), ce dernier décrivant avec talent la géologie régionale pour un plus large public (Naud, 1979), et enfin Fabre (1887, 1889) et Boule (1892, 1906) qui considéraient les volcans du Vivarais comme

contemporains de la Chaîne des Puys.

Des indices de chronologie relative des appareils volcaniques récents du Bas-Vivarais fondés sur les rapports géométriques entre leurs laves furent observés dès les premiers travaux (références ci-avant et Berger, 1973) : la coulée du Chambon est postérieure aux dernières coulées de la Gravenne de Montpezat ; les coulées du Souilhol et de la Gravenne de Montpezat surmontent la coulée du Ray-Pic à Pont-de-Labeaume tandis que la coulée de Jaujac vient y buter sur celle du Souilhol. Les coulées des volcans du Chambon et de Jaujac apparaissent donc comme les plus récentes du volcanisme du Bas-Vivarais.

L'importance de la ré-incision postérieure à l'ennoiement des vallées par les laves a également suscité très tôt une réflexion sur l'ancienneté de ce processus, par exemple pour la coulée d'Aizac profondément disséquée par la Volane (Giraud-Soulavie, *op. cit.* et Berger, *op. cit.*).

Ces indices de chronologie relative demandaient à être situés dans le temps, d'autant qu'aucun site paléontologique ou archéologique n'avait été découvert en relation directe avec les édifices et leurs produits émis. Plusieurs approches en ce sens furent développées dans la seconde moitié du siècle dernier.

LA LABORIEUSE TENTATIVE DE CONSTRUCTION D'UN CALENDRIER

À la fin du siècle dernier, le paléomagnétisme a permis de déterminer des familles d'appareils ayant fonctionné simultanément (au sens géologique), il y a moins de 780 000 ans, soit pendant la période de polarité magnétique positive actuelle dite de Brunhes : trois courtes périodes éruptives d'au plus un siècle de durée, séparées par des temps de repos de l'ordre de 50 000 ans, ont été identifiées (Rochette *et al.*, 1993).

L'épisode ancien comprendrait les volcans de La Rochette, de Borée et de Saint-Martial, auxquels il a été proposé de rattacher les maars non datés de Chaudeyrolles et de Saint-Front. Le second épisode regrouperait le maar d'Issarlès, les volcans de Cherchemuse, du Ray-Pic, du Pic de l'Etoile, de la Coupe d'Ayzac, du Suc de Bauzon et possiblement de la Gravenne de Montpezat. Le troisième serait formé des volcans de la Vestide du Pal, de Chambon, possiblement de la Gravenne de Montpezat, du Souilhol, de la Gravenne de Thueyts (ou volcan du Prat) et de la Coupe de Jaujac.

On le voit, cette distribution confirme en partie les données anciennes de chronologie relative et nous avons choisi de la prendre pour trame dans notre réflexion (tableau 1).

Les âges alors connus pour divers appareils

avaient été obtenus par thermoluminescence (Guérin, 1983) (tableau 1) et étaient en bon accord avec la proposition paléomagnétique. Ils ont été complétés plus récemment (Guérin et Gillot, 2007) et confirment l'existence de trois périodes éruptives, mais le temps de repos entre les deux premières phases est cette fois estimé à 90 000 ans (au lieu de 50 000 ans) ; leurs âges estimés sont donc : 166 ± 15 ka, $78 \pm 5,3$ ka et $45,4 \pm 3,2$ ka.

D'autres éléments de datation directe ont été obtenus plus récemment encore par potassium/argon (K-Ar) et argon/argon ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) et ce sont les âges argon/argon qui ont été retenus par les auteurs (Nomade *et al.*, 2014 ; Sasco, 2015). Les dates proposées pour les volcans de la phase ancienne (170 ± 23 ka pour La Rochette, 176 ± 20 et 206 ± 13 ka pour Borée) restent du même ordre que celles obtenues antérieurement par thermoluminescence (respectivement 167 ± 18 et 166 ± 27 ka) (Guérin et Gillot, *op. cit.*). Pour les édifices des phases intermédiaire et récente en revanche, les nouvelles propositions sont en général beaucoup plus jeunes, entre 40 ± 6 et 15 ± 11 ka, et assorties de très importantes incertitudes (23 à 73 %), conduisant les auteurs à envisager une période d'activité paroxysmale vers 30 ka (tableau 1).

Bien sûr, on avait cherché d'abord à obtenir des âges « sur débris de bois » par la méthode du radiocarbone et trois résultats ont été présentés (Berger, 1973). Toutefois, il y a contradiction avec leur publication postérieure (Berger *et al.*, 1975) : la date de $11\,770 \pm 270$ BP (Gif 2640) obtenue à Pont-de-Labeaume entre les coulées du Ray Pic et du Souilhol est alors annoncée comme obtenue sur « humine de paléosol », tout comme celle « supérieure à 25 000 BP » (Gif 1608) obtenue sur « humine d'un paléosol » sous la coulée du Ray Pic, et la nature du matériau daté incite à la plus grande prudence vis à vis des résultats. Seul l'âge « supérieur à 35 000 BP » (Gif 2643) obtenu sur des bois carbonisés situés sous les scories du Souilhol ne prête pas à confusion. Un quatrième âge de $15\,100 \pm 360$ BP a été obtenu plus récemment sur des bois carbonisés par la coulée du Chambon à Pourcheyrolles (Berger, 2007). C'est un bilan radiocarbone bien mince pour cette province volcanique et les progrès récents de cette méthode de datation pour un très large spectre de matériaux utilisables incitent à rechercher activement des micro-charbons pour datation.

Tous ces résultats de datations directes obtenus en Vivarais sont cependant moins nombreux en comparaison de ce qui a été réalisé en

Edifice volcanique	Commune	Département	Matériel datant	Indicateurs naturalistes	Âge radiocarbone en années avant le présent non calibré	Âge OSL	Âge TL	Âge K/Ar	Âge Ar/Ar	Paléomag	EVI : Indice d'explosivité probable	Hauteur de panache en km	Emission de coulée en km	Impact mésologique estimé	Humains	
Maar de Borée-Echamps	Borée	Ardèche	dyke dyke ?					244 ± 4 (3) 216 ± 8 (3)	176 ± 20 (3) 206 ± 13 (3)	166 000 ± 15 000	3 à 1	0,1-15	7,5	très fort à modéré	NÉANDERTHALIENS	
La Rochette	La Rochette	Ardèche	coulée			164 ± 27 (2)										
Maar de Chaudeyrolles	Chaudeyrolles	Haute-Loire	carotte	≥ 140 000							?					très fort
Maar de Saint-Front	Saint-Front	Haute-Loire	carotte	≥ 140 000							?					très fort
Maar de Saint-Martial	Saint-Martial	Ardèche									?					très fort
Maar d'Issarlès	Le Lac d'Issarlès	Ardèche	carotte	≥ 15 000							?					très fort
Sucs de Breyse	Présailles Alleyrac Goudet	Haute-Loire	paléosol sous le tuff de maar coulée coulée			74,9 ± 4 73,6 ± 4,8	en cours en cours	en cours 600 ± 500 (4)	en cours		?	3 à 1	0,1-15			très fort à modéré
Paléo-Loire	Usclades-et-Rieutord	Ardèche	déla lacustre sommets lac			35,3 ± 2,8 52,1 ± 2,3										
Suc de Bazouan	Cros-de-Géorand		coulée coulée					60 ± 3 (3) 60 ± 5 (3)	34 ± 12 (3) 33 ± 10 (3)		3 à 1	0,1-15	14			très fort à modéré
Gravenne de Montpezat	Montpezat	Ardèche	coulée					81 ± 12 (2)								modéré
Maar du Ray-Pic	Péreyres	Ardèche	humus paléosol coulée	≥ 25 000 (1)				77 ± 9,9 (5)	102 ± 2 (3) 34 ± 8 (3)	78 000 ± 9 300	3 à 1	0,1-15	21		très fort à modéré	
Pic de l'Etoile	La Bastide-sur-Bésorgues	Ardèche	coulée					83 ± 9,2 (5)	265 ± 5 (3) 31 ± 11 (3)						modéré	
Coupe d'Aizac	Antraigues	Ardèche	coulée						140 ± 8 (3) 28 ± 9 (3)						modéré	
Cherchemuse	Le Béage	Ardèche	coulée coulée						200 ± 4 (3) 330 ± 60 (7)						modéré	
Coupe de Jaujac	Jaujac	Ardèche	coulée					> 35,4 (5)	115 ± 4 (3) 27 ± 9 (3)						modéré	
La Vestide du Pal	Montpezat	Ardèche	coulée coulée téphra proximal téphra proximal						45 ± 5 (3) 26 ± 6 (3)						très fort à modéré	
maar (?) inconnu	Soyons	Ardèche	téphra distal						72 ± 12 (6)		?					
Chambon	Montpezat	Ardèche	ch. bois sous coulée coulée	15 100 ± 360 BP (1)					43 ± 2 (3) 19 ± 10 (3)	45 400 ± 3 200	3 à 1	0,1-15	4,5		modéré	
Souilhoul	Meyras	Ardèche	coulée coulée xénolithe humus paléosol ch. bois sous coulée	> 35 000 (1) 11 770 ± 270 BP (1)					62 ± 3 (3) 63 ± 3 (3) < 53,2 (2)						modéré	

Tableau 1: Inventaire des différents éléments de chronologie disponibles pour le volcanisme du Bas-Vivarais et certaines formations associées, classés de haut en bas en âges croissants d'après le paléomagnétisme, avec estimation des dynamiques éruptives, des impacts mésologiques et des étapes concomitantes de l'évolution humaine. (1) Berger, 1973, 1981, 2007 ; Berger et al., 1975 ; (2) Guérin et Gillot, 2007 ; (3) Nomade et al., 2014 ; (4) Defive, 1996 ; (5) Fleming, 1970 ; (6) Pilleyre et al., 1992 et Sanzelle et al., 2000 ; (7) Fouris, 1989.

Basse-Auvergne pour la même période (Raynal et al., 1994 ; Vernet et al., 1998) et surtout ils sont très disparates. Une des raisons réside dans la difficulté de trouver des matériaux permettant l'application de la méthode du radiocarbone et une autre tient aux problèmes rencontrés pour dater par la méthode du potassium/argon des laves riches en enclaves mantelliques et de socle qui fournissent des âges en excès ; enfin, les essais d'application de la méthode argon/argon fournissent des âges plus récents que le potassium/argon, entachés de larges incertitudes, mais sont considérés comme plus proches des âges réels (Sasco, op. cit. ; Nomade, op. cit.). L'application de la thermoluminescence aux laves et projections, tout comme celle de la luminescence stimulée optiquement (OSL) aux sédiments en relations géométriques avec les téphras, apportent également leur lot d'incertitudes, liées d'une part à la plus ou moins bonne capacité d'enregistrement des grains minéraux, d'autre part aux difficultés de calcul des doses réelles de radiations reçues par les échantillons depuis leur enfouissement.

En voisins occidentaux de la province volcanique du Bas-Vivarais, les maars du Devès ont livré de longs enregistrements lacustres qui ont renouvelé le cadre paléoclimatique et chronologique du Pléistocène moyen (Beaulieu et al., 2006). Les séquences lacustres des maars occidentaux de la province volcanique du Bas-Vivarais (Defive et al., 2011) ont fait l'objet de plusieurs travaux qui livrent quelques indices sur leurs âges minimum.

Le maar de Saint-Front s'est ouvert à 1 230 m d'altitude, à 8 km au nord du Mont Mézenc. Les dépôts lacustres ont été reconnus par plusieurs sondages sur 55 m de puissance et ont été étudiés en détail (Thouveny et al., 1994 ; Andrieu-Ponel et al., 1995 ; Vlag et al., 1997). Des argiles minérales déposées sous climat froid y alternent avec des boues organiques formées sous climat tempéré. Le sommet des dépôts, entre 2,2 et 11,3 m, est daté par le radiocarbone et après calibration entre 1 074 et 9 254 BP. Puis, sous des dépôts montrant une excursion du champ magnétique terrestre qui pourrait correspondre à celle de Laschamps reconnue dans la séquence du lac du Bouchet et datée vers 37 000 BP par le

radiocarbone, une retombée volcanique directe de 7 cm d'épaisseur est intercalée vers 18,40 m ; formée de ponces noires, plagioclase, olivine, xénocristaux et xénolithes du socle, à fraction vitreuse très vésiculée potassique d'un magma basanitique, elle n'a pu être datée par $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Roger, 2000). La base de la séquence reconnue est rapportée à l'avant-dernier glaciaire (stade isotopique marin 6) et surmontée par des dépôts à contenu pollinique caractéristique du dernier interglaciaire (Émien, stade isotopique marin 5). Le début de la sédimentation est donc estimé autour de 140 000 ans (Thouveny *et al.*, *op. cit.* ; Vlag *et al.*, *op. cit.* ; Cheddadi *et al.*, 1998 ; Stockhausen et Thouveny, 1999), âge minimum pour l'éruption du maar au cours de la phase ancienne du volcanisme du Bas-Vivarais.

Le maar de Chaudeyrolles s'ouvre à 1 220 m d'altitude, à 3 km au nord du Mont Mézenc. Sa dépression de 0,7 km² est comblée par une séquence sédimentaire reconnue par forage sur 53 m (Werth, 1996), coiffée sur 2 m par une tourbière dont la base a livré un contenu pollinique rapporté au Tardiglaciaire (Lemée, 1946, 1953 ; Couteaux, 1984a). Le remplissage lacustre présente une alternance de niveaux grossiers, fins et tourbeux et sa base, à partir de 50,5 m de profondeur, est formée de « cailloutis dont la composition est proche de celle d'un tuff-ring » (Wert, *op.cit.*), probables produits phréatomagmatiques synéruptifs. Deux niveaux tourbeux entre 11,45 et 14,90 m de profondeur ont livré des âges radiocarbone calibrés entre 28 478 et 33 430 BP » (Werth, *op. cit.*). L'interprétation des données de la susceptibilité magnétique postule que le dernier interglaciaire serait présent entre 17,5 et 20 m et que des phases froides antérieures seraient enregistrées entre 20 et 33 m avec intercalations de cendres volcaniques entre 22 et 22,5 m. Le remplissage du maar de Chaudeyrolles intéresserait donc au moins les 130 derniers millénaires, voire plus. Le rattachement de cet édifice à la phase ancienne du volcanisme du Bas-Vivarais semble donc judicieux.

Le maar du Lac d'Issarlès s'ouvre à 1 000 m d'altitude, à 14 km au sud-ouest du Mont Mézenc. Il présente un cratère bilobé de 0,9 km² contenant une tranche d'eau de 108 m (Delebecque, 1898). Les dépôts lacustres fins de cœur de lac ont été carottés sur six mètres seulement en 1982 et leur contenu pollinique le plus ancien est attribué au Dryas récent (Couteaux, 1984b), soit entre 12 800 et 11 500 avant aujourd'hui. À l'embouchure du

ruisseau de la Clède, des dépôts périglaciaires lités rapportés au dernier glaciaire forment la base de la partie visible de l'anneau détritique du lac et se sont mis en place durant un épisode de bas niveau des eaux (Couteaux, *op. cit.*). L'ouverture du maar résulte d'une éruption de grande ampleur non datée. Deux âges très anciens ($1,94 \pm 0,08$ Ma pour la coulée du parking du lac et $1,50 \pm 01$ Ma pour le plateau de Bonnaud) ont été publiés pour ce site (Fouris, 1989 ; Mergoïl et Boivin, 1993) mais se rapportent à un volcanisme de génération Devès sans rapport avec le maar (Defive, 1996). Le maar du Lac d'Issarlès est supposé appartenir à la seconde phase éruptive des jeunes volcans d'Ardèche. Il jouxte le volcan de Cherchemuse daté d'abord à 330 ± 60 ka par K-Ar (Fouris, 1989) et plus récemment à 200 ± 4 ka par K-Ar et 25 ± 9 ka par $^{40}\text{AR}/^{39}\text{Ar}$ (Nomade *et al.*, *op. cit.*).

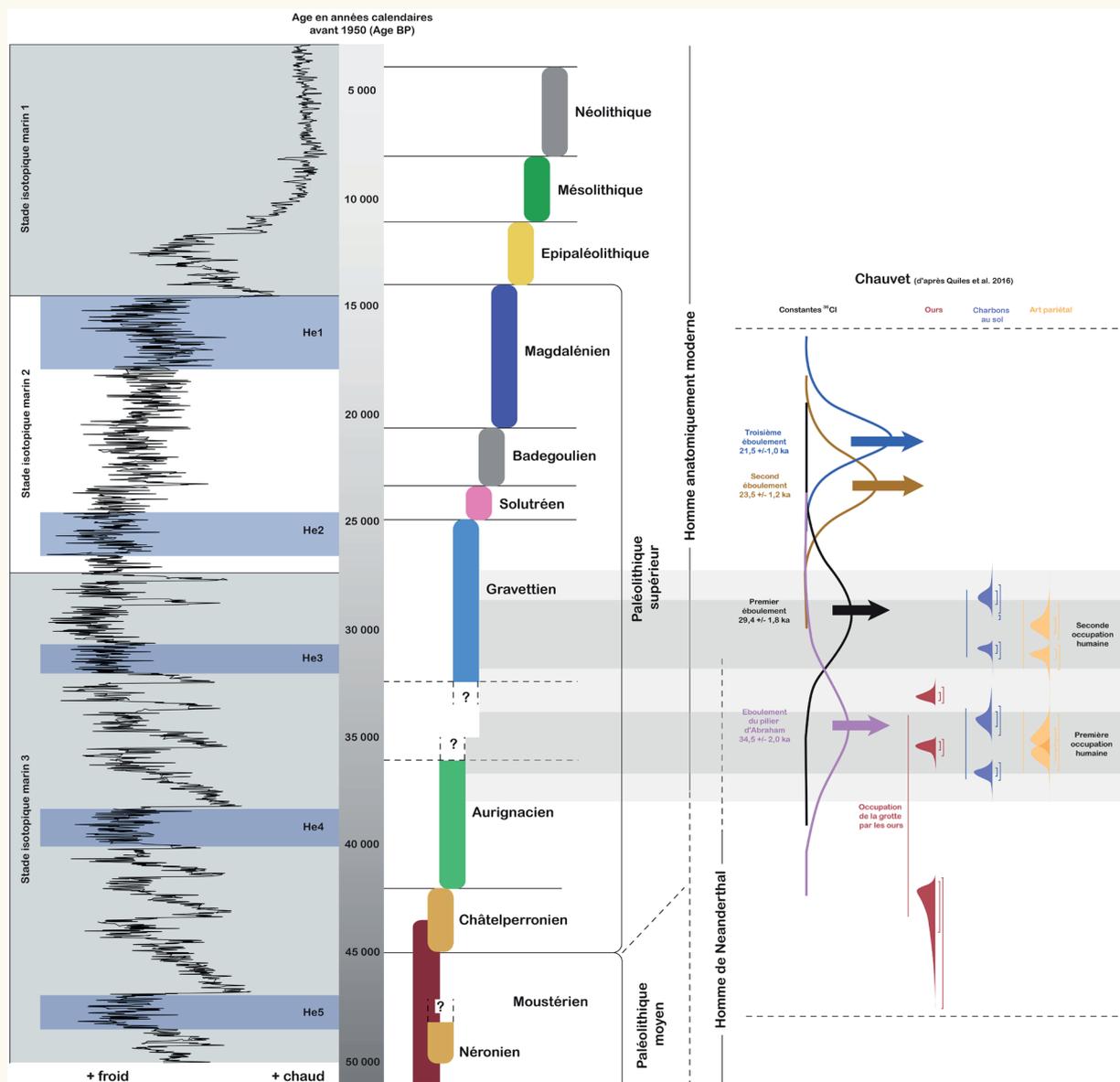
Enfin, dans les sites préhistoriques ardéchois, quelques retombées directes ou entraînées dans les réseaux karstiques ont été identifiées et l'on a tenté d'en retrouver l'origine (Debard et Pastre, 1988, 2008). Citons tout d'abord le téphra à clinopyroxène vert reconnu dans le site d'Orgnac III et rapporté à une éruption du Sancy datée de 298 ± 55 ka par traces de fission sur zircon (Pastre *et al.*, 1994 ; Khatib, 1994) ; il a été retrouvé en Velay dans les dépôts lacustres du maar de Praclaux et daté par $^{40}\text{AR}/^{39}\text{Ar}$ à 275 ± 5 ka où il est dénommé Amargier tephra (Roger *et al.*, 1999). Citons ensuite les cendres identifiées en contexte moustérien dans la Baume Moula-Guercy (Pastre *et al.*, *op. cit.*) et datées par thermoluminescence de 72 ± 12 ka (Sanzelle *et al.*, 2000). Elles surmontent les dépôts où ont été découverts plusieurs restes de Néanderthaliens (Defleur, 1995 ; Defleur *et al.*, 1993, 1998, 1999) datés du dernier interglaciaire, entre 97 ± 10 ka et 119 ± 13 ka (Willmes *et al.*, 2016) ; le volcan de type maar émetteur de ce téphra n'a pas été identifié et la corrélation avec la dernière éruption phréatomagmatique du maar de la Vestide du Pal, datée par thermoluminescence de 49 ± 7 ka, a été écartée (Sanzelle *et al.*, *op. cit.*). Des minéraux du volcanisme ont été retrouvés dans d'autres sites mais ne caractérisent malheureusement pas des retombées directes : c'est le cas de la couche 4 du gisement moustérien de l'Abri du Maras (Puaud, 2015) et du sommet de l'éboulis ancien de la zone du porche de l'entrée paléolithique de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc (Debard *et al.*, 2016).

IMPACTS ET VISIBILITÉ DES DIFFÉRENTES ÉRUPTIONS RÉGIONALES

On peut essayer d'estimer l'indice d'explosivité (EVI ; Newhall and Self, 1982) des diverses éruptions recensées et donc leur intensité et leur potentielle visibilité à grande distance, ainsi que leur impact sur les environnements (tableau 1).

Les éruptions phréatomagmatiques, très violentes et pour certaines de grande ampleur, avec grands panaches éruptifs et nuées ardentes rasantes (déferlantes), très probablement accompagnées de séismes, ont amené l'ouverture de cratères circulaires appelés maars, souvent rapidement occupés par des lacs. Si l'on fait abstraction des maars plus anciens du Velay occidental (Devès), on trouve dans le Velay oriental ceux de Saint-Front, Chaudeyrolles,

Saint-Martial et du Lac d'Issarlès. D'autres ont été complètement ou partiellement occultés par les dynamismes stromboliens subséquents qui ont émis de grandes quantités de laves et de projections : ce sont par exemple les maars de Breysse, d'Echamps, du Ray-Pic et de la Vestide du Pal. Ces éruptions violentes furent visibles de loin et offrent pour certaines des âges contemporains de la présence des Néanderthaliens dans la région, ce qui serait corroboré par la découverte de retombées phréatomagmatiques distales retrouvées dans les niveaux moustériens de la grotte Moula-Guercy par exemple. D'autres éruptions plus récentes, entre 30 et 20 ka, pourraient être à l'origine de certaines phases d'effondrement observées dans les grottes et abris-sous-roche du Bas-Vivarais calcaire, par exemple à Chauvet-Pont-d'Arc (Figure 2) où on connaît désormais leur âge avec précision (Quilès *et al.*, 2016).



Les épisodes stromboliens, en revanche, sont moins visibles de loin, même accompagnés de fontaines de lave, mais sont mieux perceptibles de nuit. Certains furent précédés - ou entrecoupés - de phases phréatomagmatiques violentes. D'autres, fortement effusifs, ont considérablement modifié les vallées empruntées par d'énormes volumes de lave (21 km de long pour la coulée du Ray-Pic) et déterminé parfois des barrages temporaires entraînant la formation de lacs : barrage de la Loire à Rieutord par la coulée du Suc de Bauzon par exemple, barrages de l'Ardèche et du Merdaric à Thueyts. La vitesse de comblement de ces lacs ne peut être correctement évaluée sur la seule base des données actuellement disponibles. Ces impacts du volcanisme, certes géographiquement limités car contraints par les caractères du relief, ont cependant pu perturber les circulations animales et humaines au sein de la zone affectée.

Il a été suggéré (Lavachery, 2015 ; Nomade *et al.*, 2016) que certains faits repérés sur les parois de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc puissent évoquer des éruptions volcaniques stromboliennes : gerbes rouges du panneau du « Sacré-Cœur » et signe en gerbe gravé au doigt de la galerie des Mégacéros, signes d'effacement en gerbes du panneau du Mégacéros. Pour Lavachery (*op. cit.*), ce dernier évoquerait plutôt une éruption phréato-gazeuse attribuée intuitivement au maar d'Issarlès et il a même été proposé que ces expressions traduisent une volonté de mémoire des risques naturels à l'intention des populations paléolithiques (Lavachery, *op. cit.*). La moyenne des âges anciens obtenus pour les dessins dans la caverne Chauvet-Pont-d'Arc a été comparée avec celle des datations $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenues sur les jeunes volcans d'Ardèche et l'on a conclu à la possible contemporanéité de la présence humaine et des éruptions, insistant sur le fait que les éruptions du Bas-Vivarais furent visibles depuis le plateau surplombant l'entrée de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc (Nomade *et al.*, *op. cit.*).

Qui a pu voir quoi ?

Si les manifestations anciennes du volcanisme du Bas-Vivarais ont sans nul doute été vécues par les Néanderthaliens, présents en Europe depuis 450 000 ans au moins, qu'en est-il des éruptions plus récentes ?

En Haute-Loire, aucun reste humain néanderthalien n'a été découvert jusqu'à présent mais sur la foi des données des régions

périphériques, on y postule l'équivalence Moustérien=Néanderthalien. Cette équivalence vaut également pour l'Ardèche où des fossiles de Néanderthaliens découverts dans les grottes de Payre et de Soyons attestent la présence de cette humanité depuis 250 000 ans (Moncel, 2008).

Cependant, la reconnaissance d'une culture moustérienne tardive, le Néronien (figure 2), interroge sur la nature de son artisan que l'on soupçonne être un homme moderne, potentiellement présent dans l'espace rhodanien depuis environ 50 000 ans (Slimak, 2017 ; Slimak *et al.*, 2017).

Cette présence moderne précoce en Europe occidentale contredirait l'idée généralement admise de premiers humains modernes arrivés en Europe occidentale exclusivement porteurs d'une culture matérielle du Paléolithique supérieur, l'Aurignacien, qui diffère radicalement de celle de leurs prédécesseurs néanderthaliens, le Moustérien. Elle obligerait à discuter la proposition que les Néanderthaliens aient été, dans une phase tardive de leur culture, les auteurs d'expressions picturales (Marquet et Lorblanchet, 2003 ; Pike *et al.*, 2012 ; Rodriguez-Vidal *et al.*, 2014 ; Hoffmann *et al.*, 2018). Il n'en reste pas moins que les Néanderthaliens ont fréquenté les profondeurs du karst dès 175 600 ans pour y réaliser des installations complexes à caractère énigmatique et y entretenir des feux, signes évidents d'une pensée complexe (grotte de Bruniquel ; Jaubert *et al.*, 2016).

Incontestablement, les éruptions volcaniques des deux cents derniers millénaires en Velay-Vivarais ont pu être observées par des Néanderthaliens d'abord, puis par des humains modernes. Il est même théoriquement possible que ces derniers, arrivés plus tôt en Europe occidentale avec une culture matérielle également moustérienne, les aient observées en contemporanéité avec les derniers Néanderthaliens, avant que les Aurignaciens du début du Paléolithique supérieur n'en soient à leur tour les témoins. Les grandes différences constatées entre les résultats des diverses méthodes de datation introduisent toutefois un biais considérable dans l'interprétation archéologique et son indissociable volet paléoanthropologique (tableau 1).

Vers une téphrostratigraphie régionale enrichie

Les programmes de recherche actuellement en cours dans le haut bassin de la Loire (DAM, DAM2, CoEVOL) apportent une contribution nouvelle à la connaissance de la chronologie du volcanisme du Bas-Vivarais, du contexte paléoenvironnemental de son déroulement et des perturbations induites en particulier dans l'axe des paléo-vallées (Defive et Raynal, 2015).

Le site de Rieutord a révélé la présence d'un lac de barrage volcanique consécutif à l'épanchement de la coulée basaltique du Suc de Bauzon dans la vallée de la Loire à l'aval immédiat de Rieutord (figure 3).

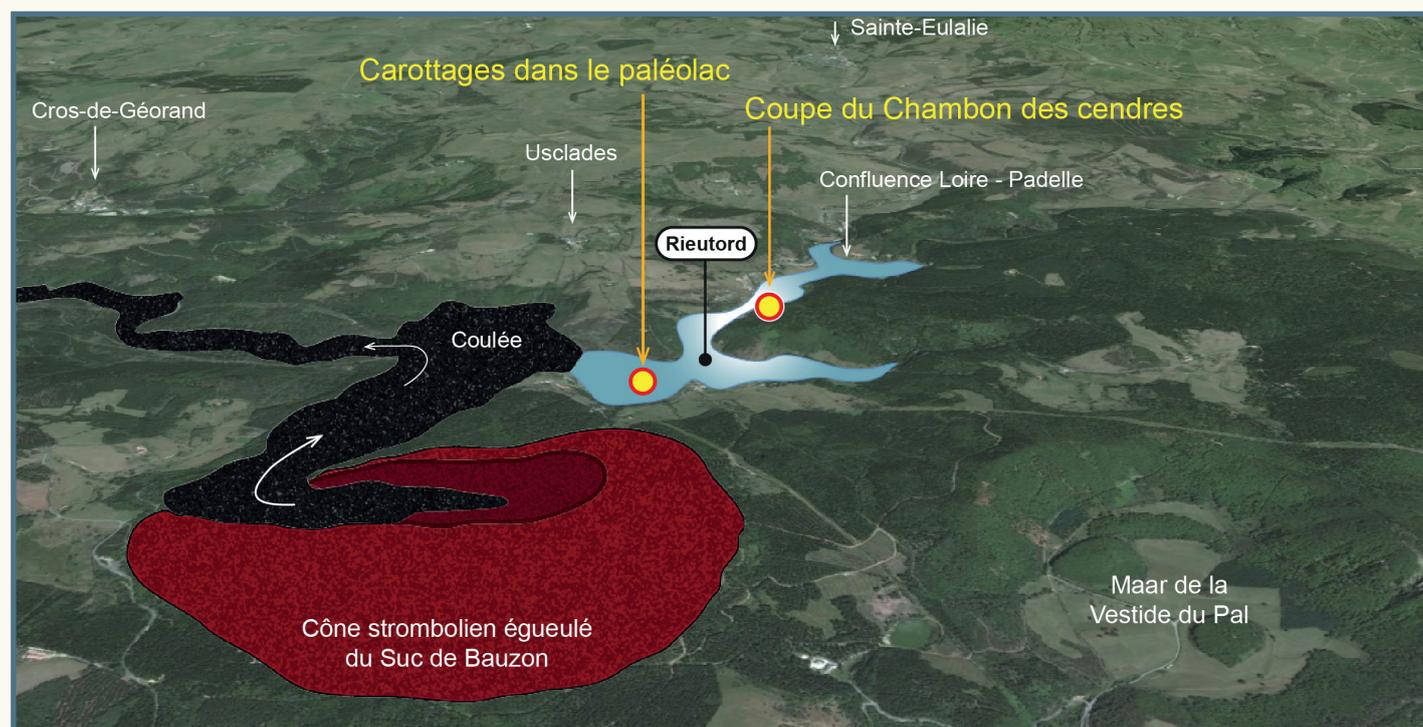


Figure 3 : Le site de Rieutord après mise en place du barrage volcanique par la coulée du Bauzon et formation du lac à son amont. Localisation des coupes et points de carottage. Fond : image Google Earth.

La formation sablo-silteuse deltaïque de la coupe du Chambon des Cendres (photo 1 et figure 4), tout comme les dépôts lacustres à téphras intercalés carottés sur près de vingt mètres en aval de Rieutord (photos 2 et 3), témoignent du comblement progressif de ce lac jusqu'à une altitude supérieure à celle du fond actuel de la vallée. Ce dernier, plat et large, contraste avec l'aspect que devait avoir la gorge de la Loire à cet endroit lorsque débuta l'activité volcanique locale ; en effet des alluvions ont été retrouvées par forage à près de 50 m de profondeur sous le niveau actuel du fond de vallée, recouvertes par une épaisse séquence volcanique (coulée et projections) qui devait avoir partiellement comblé le fond de la gorge avant même que ne surviennent le barrage volcanique et la phase lacustre.

Les datations OSL effectuées sur les sables deltaïques de la coupe du Chambon des

Cendres donnent des âges cohérents entre eux, échelonnés entre $52,1 \pm 2,3$ et $35,3 \pm 2,8$ ka, tandis que la datation radiocarbone du sédiment organo-détritique du sommet résiduel de la séquence lacustre carottée a fourni un âge de $29\,690 \pm 160$ BP, soit après calibration entre 34 129 et 33 564 ans avant le présent. Force est de constater que ces résultats posent problème par rapport à l'âge $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenu pour le volcan du Bauzon (33 ± 10 et 34 ± 12 ka ; Nomade *et al.*, 2014) dont la coulée serait à l'origine du barrage, et qu'ils seraient plus compatibles avec les âges obtenus par thermoluminescence qui le rattachent à la phase intermédiaire du volcanisme du Bas-Vivarais : $78 \pm 5,3$ ka (Guérin et Gillot, 2007). En revanche, l'âge $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenu pour le maar de la Vestide du Pal (26 ± 6 ka ; Nomade *et al.*, 2014) pourrait s'accorder avec la position des dépôts phréatomagmatiques formant le



Photo 1 : Coupe du Chambon des Cendres, Rieutord (07), 2014. Les lits inclinés du front de delta - *forset bed* - apparaissent au tiers inférieur, ravinés par les formations postérieures. L'unité brun noirâtre formant le sommet de la coupe correspond à des retombées phréatomagmatiques riches en lapilli basaltiques (Vestide du Pal ?).

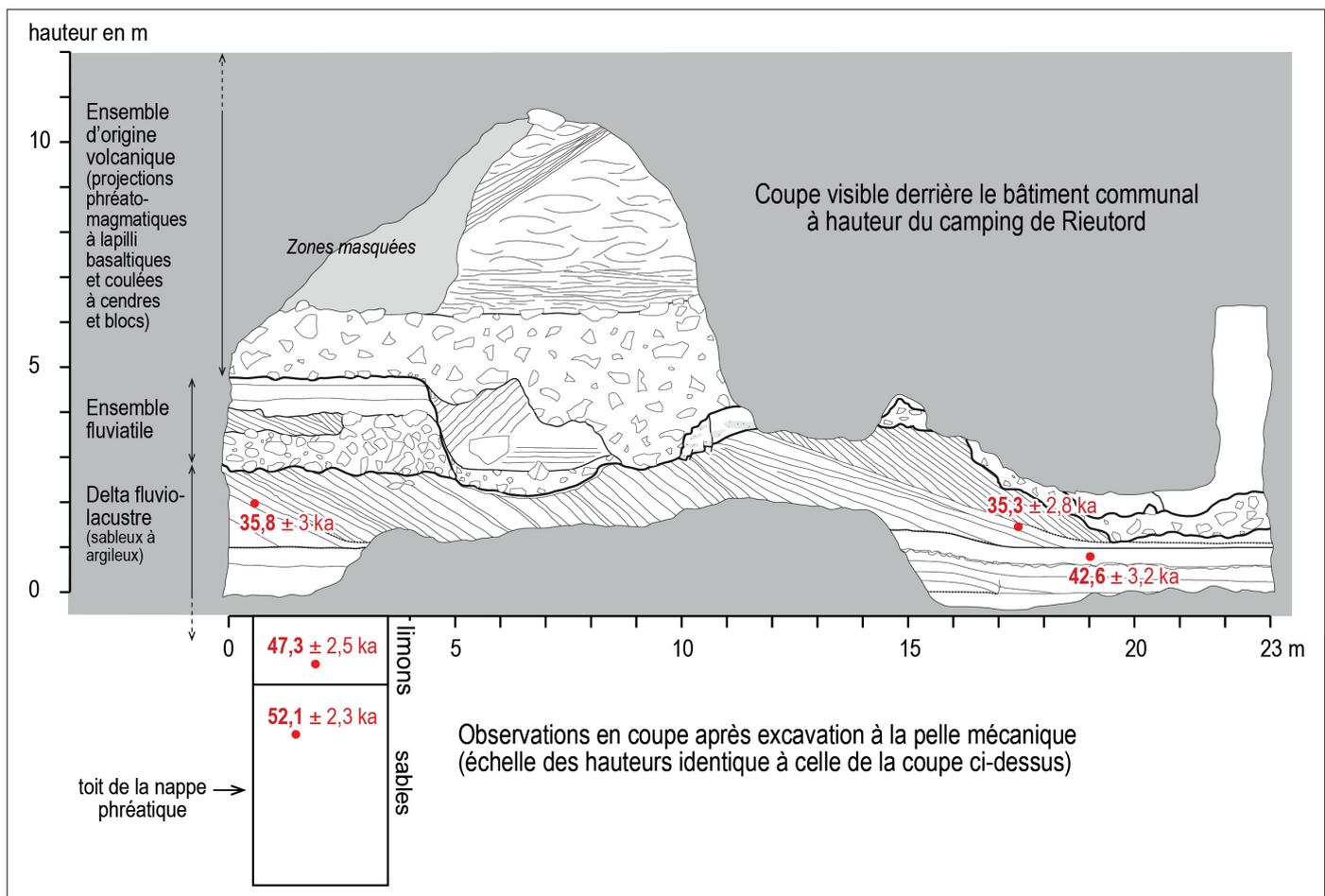


Figure 4 : Relevé de la coupe du Chambon des Cendres (Rieutord) et datations OSL du delta lacustre de la paléo-Loire (Luminescence Dating Laboratory, Institute of Physics, Silesian University of Technology, Gliwice, Pologne).

sommet de la coupe du Chambon des Cendres, au-dessus de la formation deltaïque (photo 1 et figure 4).

L'étude du site de Rieutord révèle ainsi une histoire d'une complexité inattendue autant qu'un fort potentiel, à la fois pour l'affinement du cadre géochronologique et paléoenvironnemental (exploitation des

archives sédimentaires) et pour la constitution d'une téphro-stratigraphie micro-régionale de référence. Dans ce cadre, d'autres sites en cours d'étude devraient venir nourrir la discussion. Parmi eux, le maar du Lac d'Issarlès, dont la datation est en cours, et les Sucs de Breyse qui s'avèrent être contemporains de Néanderthal (publication à venir).



Photo 2 : Site de carottage de la séquence lacustre de Rieutord en aval du village. Travaux réalisés par la Société Sondafor (07, Soyons), mai 2017.

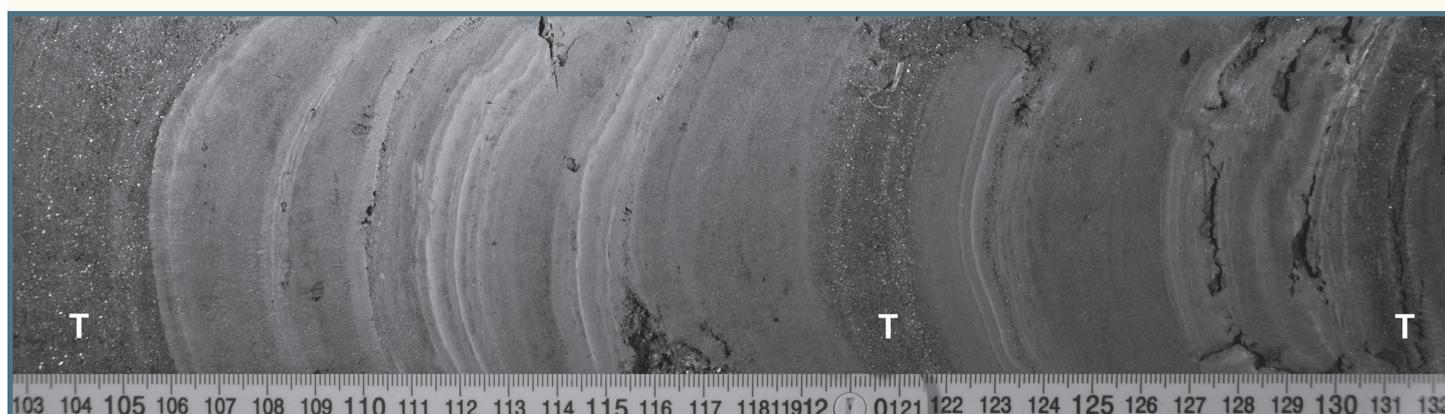


Photo 3 : Détail de la carotte C1 de la séquence lacustre de Rieutord montrant des séquences laminées silto-sableuses à argileuses alternant avec de probables téphras (T).

CONCLUSION

L'activité volcanique des deux cents derniers millénaires en Velay-Vivarais est intervenue dans des environnements en constantes transformations induites par les variations du climat global. Cette versatilité climatique entre épisodes glaciaires ou plus cléments s'est particulièrement bien exprimée au cours des quelques millénaires qui ont vu l'humanité moderne remplacer progressivement les Néanderthaliens. La manière dont les humanités successives réagirent à ces événements catastrophiques reste une question sans réponse, d'autant plus que le calendrier éruptif reste bien difficile à préciser. La province volcanique du Bas-Vivarais mérite que l'on revienne sur son architecture éruptive et sa chronologie et que soient recherchés les indices archéologiques synchrones de ses périodes d'activité.

De nouvelles datations ont été récemment obtenues ou sont en cours sur des édifices qui étaient jusque-là mal connus, tandis que des carottages entrepris dans des lacs de barrage volcanique livrent de nouvelles données à même de préciser et d'enrichir le cadre téphrostratigraphique et paléo-environnemental régional. Nul doute que ce premier essai de calendrier sera largement amendé et permettra de mieux comprendre « qui a vu quoi » !

REMERCIEMENTS

Les travaux de recherche à la base de cet article ont été rendus possibles par le soutien financier et logistique de plusieurs partenaires que nous tenons à remercier : le Géoparc Mondial UNESCO des Monts d'Ardèche et l'Université Clermont-Auvergne, engagés tous deux dans un partenariat visant au soutien des travaux de recherche sur le territoire du Géoparc, le laboratoire GEOLAB (UMR 6042 CNRS), la Maison des Sciences de l'Homme de Clermont-Ferrand, la Fédération des Recherches en Environnement (UBP/CNRS FR 3467/INRA), la Zone Atelier Loire (ZAL), le SITHÈRE (Syndicat Intercommunal pour le THERmalisme et l'Environnement), la DRAC Auvergne-Rhône-Alpes, les associations *Archéo-Logis/CDERAD* et *Les Amis du Mézenc*.

Bibliographie

- Andrieu-Ponel V., Bonifay E., Reille M., Rhoujjati A. & Thouveny N., 1995. Stop 29: Lac de St-Front. In W. Schirmer (dir.), *Quaternary field trips in Central Europe*, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich, 1515-1518.
- Beaulieu J.-L. de, Andrieu-Ponel V., Cheddadi R., Guiter F., Ravazzi C., Reille M., Rossi S., 2006. Apport des longues séquences lacustres à la connaissance des variations des climats et des paysages pléistocènes. *C. R. Palévol* 5, 65-72.
- Berger E., 1973. *Le volcanisme récent de l'Ardèche*. Thèse de 3^e cycle, université Paris-Sud, Orsay.
- Berger E., 1981. *Enclaves ultramafiques, mégacrystaux et leurs basaltes hôtes*. Thèse d'Etat, université Paris 11 Orsay, France, 470 p.
- Berger E. T., 2007. *Les jeunes volcans d'Ardèche*. Editions Sud-Ouest, 192 p.
- Berger E., Brousse R, Maury R. C., 1975. Âge récent (11700 ± 270 ans BP) des dernières éruptions du Vivarais. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 280, 419-422.
- Bertrand-Roux J.-M., 1823. *Description géognostique des environs du Puy en Velay, et particulièrement du bassin au milieu duquel cette ville est située*. Levrault, Paris, 240 p.
- Bosinski G., 1986. *Archäologie des eiszeitalters vulkanismus und lavai ndustrie am Mittelrhein*. Römisch-Germanisches Zentralmuseums, Mainz, 38 p.
- Boule M., 1892. *Description géologique du Velay*. Thèse, Librairie polytechnique et Baudry et C^e, Paris, 256 p.
- Boule M., 1906. *L'âge des derniers volcans de la France*. La géographie, t. XIII, 64 p.
- Burat A., 1833. *Description des terrains volcaniques de la France centrale*. Levrault, Paris, 343 p.
- Cheddadi R., Mamakowa K., Guiot J., Beaulieu J.-L., Reille M., Andrieu V., Granoszewski W. & Peyron O., 1998. Was the climate of the Eemian stable? A quantitative climate reconstruction from seven European pollen records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 143 (1-3), 73-85.
- Cortial C. et Plazanet A., 2015. les Monts Breysse : deux volcans de Haute Loire. *Société Géologique d'Ardèche*, 8 (2^e trimestre 2015), 39-47.
- Couteaux M., 1984a. Bilan des recherches pollenanalytiques en Ardèche (France). *Bull. Soc. Roy. Bot. de Belgique*, 117, 181-196.
- Couteaux M., 1984b. Recherches pollenanalytiques au lac d'Issarlès (Ardèche, France) : évolution de la végétation et fluctuations lacustres. *Bull. Soc. Roy. Bot. de Belgique*, 117, 197-217.
- Dalmas J.-B., 1852. *Coup d'œil géologique et historique sur Aubenas, Vals, Meyras, Neyrac, suivi d'un Mémoire sur l'âge et la nature des volcans du Vivarais*. Valence, 71 p.
- Dalmas J.-B., 1872. *Itinéraire du géologue et du naturaliste dans l'Ardèche et une partie de la Haute-Loire*. De Roure, Privas, 221 p.
- Debard É. Pastre J.-F., 1988. Un marqueur chronostratigraphique du Pléistocène moyen à la périphérie du Massif central : la retombée à clinopyroxène vert du Sancy dans le site acheuléen d'Orgnac III (Bas-Vivarais, SE France). *C. R. Acad. Sci. Paris, série II*, 306, 1515-1520.
- Debard É. Pastre J.-F., 2008. Nouvelles données sur les téphras pléistocènes piégés dans les remplissages karstiques ardéchois (S-E France). *Quaternaire* 19, 107-116.
- Debard E., Ferrier C., Kervazo B., 2016. Grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche) : évolution morphosédimentaire de l'entrée. Implication sur les occupations et sur la conservation des vestiges. *Quaternaire*, 27, 1, 3-14.
- Defive E., 1996. *L'encaissement du réseau hydrographique dans le bassin supérieur de la Loire. Contribution à l'étude des rythmes d'évolution géomorphologique en moyenne montagne volcanisée*. Thèse, université Paris I Panthéon-Sorbonne, 577 p.

- Defive E. et Raynal J.-P., 2015. Une continuité régionale qui ne date pas d'hier ! Préhistoire et géoarchéologie, des atouts pour le Geopark des Monts d'Ardèche. *Les Cahiers du Mézenc*, n° 27, 13-26.
- Defive E., Meinard Y., Courrioux G., Ledru P., Poiraud A., Prognon C. & Bertin C., 2013. *Carte géologique de la France, feuille n° 816, Le Monastier-sur-Gazeille*, carte et notice, Editions du BRGM, Orléans.
- Defleur A., 1995. Nouvelles découvertes de restes humains moustériens dans les dépôts de la Baume Moula-Guercy (Soyons, Ardèche). *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, Nouvelle Série. Tome 7 fascicule 3-4, 185-190.
- Defleur A., Dutour O., Vallads H., Vandermeersch B., 1993. Cannibals among the Neanderthals ?. *Nature* 362, 214 p.
- Defleur A., Crégut-Bonnoure E., Desclaux E., 1998. Première mise en évidence d'une séquence émiennaise à restes humains dans le remplissage de la Baume Moula-Guercy (Soyons, Ardèche). *C. R. Acad. Sci. Paris, Série II A Sciences de la Terre et des Planètes* 326, 453-458.
- Defleur A., White T., Valensi P., Slimak L., Crégut-Bonnoure E., 1999. Neanderthal Cannibalism at Moula-Guercy, Ardèche, France. *Science* 286, 128-131.
- Desmarests N., Bory de Saint-Vincent J.-B., G., M., Doin G., T., Ferry C.-J., Huot J.-J.-N., 1828. Volcans. *Encyclopédie méthodique, Géographie Physique*. Tome cinquième, SAB-ZUR, 656-817.
- Delebecque A., 1898. *Les lacs français*. Paris, Chamerot et Benouard, 436 p.
- Fabre G., 1887. Origine des cirques volcaniques. Description du groupe des volcans de Bauzon (Ardèche). *Bull. Soc. Géol. France*, série 3, t. 15, 346-363.
- Fabre G., 1889. *Carte géologique détaillée de la France au 1/80 000, feuille Largentière*, n° 197, 1^{ère} édition.
- Faujas de Saint-Fond B., 1778. *Recherches sur les volcans éteints du Vivarais et du Velay*. Cuchet, Grenoble et Nyon, Née et Masquelier, Paris, 460 p.
- Fedele F., Biagio G., Isaia R., Orsi G., 2002. Ecosystem Impact of the Campanian Ignimbrite Eruption in Late Pleistocene Europe. *Quaternary Research* 57(3), 420-424.
- Fleming S. J., 1970. Refinement of the quartz inclusion method. *Archaeometry*, 12, 133-147.
- Forbes J., D., 1850. On the Volcanic Geology of the Vivarais (Ardeche). *Royal Society of Edinburgh* vol. XX, Part 1, 1-38.
- Fouris M., 1989. *Les sites villafranchiens du Devès et les basaltes de la vallée de l'Allier : application de la méthode K-Ar*. Thèse n° 129, Université Blaise Pascal, 206 p.
- Francus Dr, 1878. *Voyage aux pays volcaniques du Vivarais*. Roure, Privas, 390 p.
- Francus Dr, 1882. *Voyage autour de Privas*. De Roure, Privas, 622 p.
- Giraud-Soulavie J.-L., 1780a. *Histoire naturelle de la France méridionale*. Tome second. Belle, Nîmes, 478 p.
- Giraud-Soulavie J.-L., 1780b. *Géographie de la nature, ou distribution naturelle des trois règnes sur la surface de la terre*. Clouzier, Paris, 16 p.
- Guérin G., 1983. *La thermoluminescence des plagioclases, méthode de datation du volcanisme*, thèse d'État, Université Paris 6, 258 p.
- Guérin G. et Gillot P.-Y., 2007. Nouveaux éléments de chronologie du volcanisme Pléistocène du Bas-Vivarais (Ardèche, France) par thermoluminescence. *C. R. Géoscience* 339, 40-29.
- Hoffecker J. F., Holliday V. T., Anikovich M. V., Sinitsyn A. A., Popov V. V., S.N. Lisitsyn S. N., Levkovskaya G. M., Pospelova G. A., Forman S. L. & Giaccio B., 2008. From the Bay of Naples to the River Don: the Campanian Ignimbrite eruption and the Middle to Upper Paleolithic transition in Eastern Europe. *Journal of Human Evolution* 55, 858-870.

Hoffmann, D. L., Standish C. D., Garcia-Diez M., Pettitt P. B., Milton J. A., Zilhao J., Alcolea-Gonzalez J. J., Cantalejo-Duarte P., Collado H., de Balbin R., Lornlanchet M., Ramos-Munoz J., Weniger G.-Ch. & Pike A. W. G., 2018. U-Th dating of carbonate crusts reveals Neanderthal origin of Iberian cave art. *Science*, 359, 912-915.

Jaubert J., Verheyden S., Genty D., Soulier M., Cheng H., Blamard D., Burlet C., Camus H., Delaby S., Deldicque D., Edwards R. L., Ferrier C., Lacrampe-Cuyaubère F., Lévêque F., Maksud F., Mora P., Muth X., Régner É., Rouzaud J.-N. & Santos F., 2016. Early Neanderthal constructions deep in Bruniquel Cave in southwestern France. *Nature*, 534 (02 June 2016), 111-114.

Khatib S., 1994. Datations de cendres volcaniques et analyses géochimiques du remplissage d'Orgnac III (Ardèche, France), *Quaternaire* 5, 13-22.

Kieffer G., Vernet G. et Raynal J.-P., 2000. Recognition of the Campanian Ignimbrite near the Gulf of Policastro (Basilicata, Italy), 150 km from the eruptive event. Volcanological and palaeoenvironmental implications. *C. R. Acad. Sci. Paris, série IIA, Sciences de la terre et des planètes*, 330 (2), 105-110.

Lacoste de Plaisance P.-F., 1803. *Observations sur les volcans de l'Auvergne ; suivies de notes sur divers objets, recueillies dans une course minéralogique, faite l'année dernière, an 10 (1802)*. Delcros et Fils et Granier et Froin, Clermont-Ferrand, 196 p.

Lavachery F., 2015. *L'eau et le feu, de la grotte Chauvet à Haroun Tazieff. Les fresques de la grotte Chauvet - Pont d'Arc : quelles clés de décryptages ? Essai d'interprétation par l'environnement et le volcanisme*. 34 p. <https://files.acrobat.com/a/preview/2d9fa640-d3e9-4877-a347-d376a17ed152>

Lecoq H., 1867. Les cônes volcaniques du Vivarais. *In Les époques géologiques de l'Auvergne, tome IV*, chez Baillière et fils, Paris, 357-378.

Lemée G., 1946. L'évolution forestière post-glaciaire dans le massif du Mézenc (Haute-Loire). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 223, 956-958.

Lemée G., 1953. Observations sur la végétation actuelle et son évolution postglaciaire dans le Massif du Mézenc (Haute-Loire). *Bull. Soc. Bot. France*, 100 (10), 80^{ème} session extraordinaire, 67-77.

Marquet J.-C. et Lorblanchet M., 2003. A Neanderthal face? The proto-figurine from La Roche-Cotard, Langeais (Indre-et-Loire, France). *Antiquity*, 77, 298, 661-670.

Mergoïl J. et Boivin P., 1993. Le Velay. Son volcanisme et les formations associées. *Géologie de la France*, n° 3, Orléans, BRGM éd., 3-96.

Moncel M.-H. (dir), 2008. *Le site de Payre. Occupations humaines dans la vallée du Rhône à la fin du Pléistocène moyen et au début du Pléistocène supérieur*. Mémoire XLVI de la Société préhistorique française, 328 p.

Naud G., 1979. Préface. *Voyage aux pays volcaniques du Vivarais par le Docteur Francus*, 1878. Aubenas, Lienhart, Aubenas-en-Vivarais, 7+10.

Newhall C.G. and Self S., 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI) An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87, 1231-1238.

Nomade S., Muttoni G., Guillou H., Robin E. & Scardia G., 2011. First ⁴⁰Ar/³⁹Ar age of the Ceperano man (Central Italy). *Quaternary Geochronology* 6, 453-457.

Nomade S., Sasco R., Guillou H., Scao V., Kissel C. & Genty D., 2014, Dating of the youngest volcanoes of Ardeche (Massif Central, France) using ⁴⁰Ar/⁴⁰Ar and unspiked K/Ar. 2014. *Geophysical Research Abstracts* 16, EGU2014-4901-2.

Nomade S., Genty D., Sasco R., Scao V., Féruaglio V., Baffier D., Guillou H., Bourdier C., Valladas H., Reigner E., Debard E., Pastre J.-F. & Geneste J.-M., 2016. A 36,000-Year-Old Volcanic Eruption Depicted in the Chauvet-Pont d'Arc Cave (Ardèche, France)? *Plos One*, January 8, 2016.

Pascal L., 1865. *Etude géologique du Velay*. Paris, Lacroix, 424 p.

Pastre J.-F & Debard E., Chennaoui K., 1994. Un téphra-repère du volcanisme phréatomagmatique du Vivarais dans la séquence pléistocène supérieur de l'abri Moula (Soyons, Ardèche, France). *C. R. Acad. Sci. Paris, série II*, 319, 937-943.

Pasty J.-F., Alix P., Bemilly C., Cabanis M., Laroulandie V., Linton J., Mallye J.-B & Vernet G., 2018. Le site azilien des Gargailles à Lempdes (Puy-de-Dôme). In Troubat O. (Ed) *Préhistoire de la France centrale, actes du colloque interrégional de Montluçon, 19 novembre 2016*. Montluçon, Cercle d'Archéologie de Montluçon et de la région, Etudes archéologiques, n° 18, 192 p., 129-140.

Pike A. W. G., Hoffmann D. L., García-Diez M. , Pettitt P. B., Alcolea J. & De Balbín R., 2012. U-series dating of Paleolithic Art in 11 Caves in Spain. *Science* 336, 1409-1413.

Pilleyre T., Montret M., Faïn J., Miallier D. et Sanzelle S., 1992. Attempts at dating ancient volcanoes using the red TL of Quartz. *Quaternary Science Reviews*, 11, 13-17.

Pline le Jeune, 1809. Lettres, VI, 16. *Lettres en latin et en français. Suivi du Panégyrique de Trajan*. Landriot et Belin, Clermont et Paris, 490 p., 562 p. et 296 p.

Poulett Scrope G., J., 1827. *Memoir on the geology of central France, including the volcanic formations of Auvergne, the Velay and the Vivarais*. London,

Poulett Scrope G., J., 1844. Mémoire sur la géologie de la France centrale. *Annales de La Société d'agriculture, sciences, arts et commerce du Puy*, 153-215.

Poulett Scrope G., J., 1858. *The Geology and Extinct Volcanos of Central France*. Murray, London, 258 p.

Poulett Scrope G., J., 1863. Géologie des volcans éteints du Centre de la France. Traduit de la seconde édition par G.-A.-E. Vimont. *Mémoires de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Clermont-Ferrand*, 126-380.

Puad S., Nowak M., Pont S. et Moncel M.-H., 2015. Minéraux volcaniques et alpins à l'abri du Maras (Ardèche, France) : témoins de vents catabatiques dans la vallée du Rhône au Pléistocène supérieur. *C. R. Palevol* 14, 331-341.

Quiles A., Valladas H., Bocherens H., Delqué-Kolic E., Kaltnecker E., van der Plicht J., Delannoy J.-J., Feruglio V., Fritz C., Monney J., Philippe M., Tosello G., Jean Clottes J. & Geneste J.-M., 2016. A high-precision chronological model for the decorated Upper Paleolithic cave of Chauvet-Pont d'Arc, Ardèche, France. *PNAS*, 113, 17, 4610-4675.

Raynal J.-P., Delvigne V. et Bindon P., 2018. Moments d'origine en Velay-Vivarais. *Les Cahiers du Mézenc*, n° 30, 79-84.

Raynal J.-P., Lafarge A., Rémy D., Delvigne V., Guadelli J.-L., Costamagno S., Le Gall O., Daujeard C., Vivent D., Fernandes P., Le Corre-Le Beux M., Vernet G., Bazile F. et Lefèvre D. 2014. Datations SMA et nouveaux regards sur l'archéo-séquence du Rond-du-Barry (Polignac, Haute-Loire). *Comptes Rendus Palevol*, 13, 623-636.

Raynal J.P., Vernet G., Faïn J., Miallier D., Montret M., Pilleyre T., Sanzelle S. et Daugas J.P., 1994. Téphrostratigraphie et préhistoire des 160 derniers millénaires en Limagne d'Auvergne (Massif Central, France). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 91, 2, 149-157.

Rhoujjati A., 1995. *Géochimie organique et changements environnementaux du dernier cycle climatique : étude des sédiments du lac de Saint Front (Massif Central, France)*. Thèse de Doctorat en Géologie du Quaternaire, Université Aix-Marseille 2, Marseille, 194 p.

Richter D., Klingera P., Schmidta C., van den Bogaarde P. & Zöllera L., 2017. New chronometric age estimates for the context of the Neanderthal from Wannan-Ochtendung (Germany) by TL and argon dating. *Journal of Archaeological Science: reports*, Volume 14, August 2017, 127-136.

Rochette P., 1993. La province volcanique Pléistocène Supérieur du Bas-Vivarais (Ardèche, France) : propagation de fentes crustales en échelons ? *C.R. Acad. Sci. Paris, série II*, 316, 913-920.

Rodriguez-Vidal J, d'Errico F., Pacheco F. G., Blasco R., Rosell J., Jennings R. P., Queffelec A., Finlayson G., Fa D. A., Gutierrez Lopez J. M., Carrion J. S., Negro J. J., Finlayson S., Caceres L. M., Bernal M. A., Jimenez S. F. & Finlayson C., 2014. A rock engraving made by Neanderthals in Gibraltar. *PNAS*, Volume 111, n° 37, 13301-13306.

Roger S., 2000. *Datation $^{40}\text{Ar}^{39}\text{Ar}$ de niveaux volcaniques intercalés dans des séquences sédimentaires lacustres et marines, pléistocènes à messiniennes. Implications*

paléoenvironnementales. Thèse, Université Aix-Marseille III, n° 00AIX30047, 274 p.

Roger S., Féraud G., de Beaulieu J.-L., Thouveny N., Coulon C., Cocheme J.-J., Andrieu V. & Williams T., 1999. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating on tephra of the Velay maars (France): implications for the Late Pleistocene proxy-climatic record. *Earth and Planetary Science Letters* 170 (1999), 287-299.

Sanzelle S., Pilleyre T., Montret M., Faïn J., Miallier D., Camus G., Goër de Hervé A. et de Defleur A., 2000. Datation par thermoluminescence : étude d'une corrélation possible entre le maar de la Vestide-du-Pal et un niveau de téphra de la Baume-Moula-Guercy (Ardèche, France). *C. R. Acad. Sci. Paris, série Ila*, 330, 541-546.

Sasco R., 2015. *Développement d'un outil chronostratigraphique pour les archives climatiques : datations absolues (K/Ar , $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) et paléomagnétisme appliqués aux laves*. Thèse, Université Paris-sud, 2015, 292 p.

Scaillet S., Vita-Scaillet G. & Guillou H., 2008. Oldest human footprints dated by Ar/Ar. *Earth and Planetary Science Letters* 275, 320-325.

Slimak L., 2017. Mosaïques culturelles des derniers Néandertaliens et des premiers Hommes modernes. Les données de la vallée du Rhône. *Le troisième Homme. Préhistoire de l'Altai*, Réunion des musées nationaux - Grand Palais, Paris, 144-155.

Slimak L., Metz L. et Teyssandier N., 2017. Pénombres et éclairages européens. *Le troisième Homme. Préhistoire de l'Altai*, Réunion des musées nationaux - Grand Palais, Paris, 2017, p. 124-133.

Stockhausen H. et Thouveny N., 1999. Rock-magnetic properties of Eemian maar lake sediments from Massif Central, France: a climatic signature? *Earth and Planetary Science Letters*, 173 (3), 299-313.

Thouveny N., de Beaulieu J.-L., Bonifay E., Creer K.M., Gulot J., Icole M., Johnsen S., Jouzel J., Reille M., Williams T. & Williamson D., 1994. Climate Variations in Europe over the past 140 kyr deduced from rock magnetism. *Nature*, 371, 503-506.

Tournaire L.-M., 1870. Note sur la constitution géologique du département de la Haute-Loire et sur les révolutions dont ce pays a été le théâtre. *Bull. Soc. Géol. France*, 2^e série, t. XXVI, Séance du 18 septembre 1869, p. 1106-1178.

Vernet G. et Raynal J.-P., 1995. La Tephra des Roches, marqueur du volcanisme contemporain de la fin du Magdalénien dans le Massif Central français. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 321, série II a, 713-720.

Vernet G. et Raynal J.-P., 2000. Hommes et volcans en Basse-Auvergne préhistorique. *Revue d'Auvergne*, 554-555, tome 114, 1-2, 76-87.

Vernet G., Raynal J.P., Faïn J., Miallier D., Montret M., Pilleyre T. & Sanzelle S., 1998. Tephrostratigraphy of the last 160 ky in Western Limagne (France). *Quaternary International*, 47/48, 139-146.

Vlag P., Thouveny N., Williamson D., Andrieu V., Icole M. & Van Velzen A.J., 1997. The rock magnetic signal of climate change in the maar lake sequence of Lac St Front (France). *Geophysical Journal International*, 131 (3), 724-740.

Von Berg, A., 1997a. Die Schädelkalotte eines Neandertalers aus dem Wannenvulkan bei Ochtendung, Kreis Mayen-Koblenz. *Berichte zur Archäologie an Mittelrhein und Mosel*, 5, 11-22.

Von Berg, A., 1997b. Ein Hominidenrest aus dem Wannenvulkan bei Ochtendung, Kreis Mayen-Koblenz. *Ein Vorbericht. Archäologisches Korrespondenzblatt* 27, 531-538.

Werth, 1996. *Les séquences sédimentaires néogènes du Velay oriental. Implications paléogéographiques et paléoclimatiques*. Thèse de Doctorat en Géologie, Université Aix-Marseille 2, Luminy, 291 p.

Willmes M., Grün R., Douka K., Michel V., Armstrong R. A., Benson A., Crégut-Bonnoure E., Desclaux E., Fang F., Kinsley L., Saos T. & Defleur A. R., 2016. A comprehensive chronology of the Neanderthal site Moula-Guercy, Ardèche, France *Journal of Archaeological Science: Reports* 9 (2016) 309-319.