



Quaternaire

Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire

vol. 16/3 | 2005

Q4 Continuité et discontinuité dans les enregistrements quaternaires - Première partie

L'évolution plio-quaternaire du bassin du Puy (Massif Central, France) : rythmes morphosédimentaires et volcanisme

The plio-pleistocene evolution of the Le Puy Basin (French Massif Central): morphosedimentary rhythms and volcanism

Emmanuelle Defive, Agnès Gauthier et Jean-François Pastre



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/quaternaire/397>

DOI : 10.4000/quaternaire.397

ISSN : 1965-0795

Éditeur

Association française pour l'étude du quaternaire

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2005

Pagination : 177-190

ISSN : 1142-2904

Référence électronique

Emmanuelle Defive, Agnès Gauthier et Jean-François Pastre, « L'évolution plio-quaternaire du bassin du Puy (Massif Central, France) : rythmes morphosédimentaires et volcanisme », *Quaternaire* [En ligne], vol. 16/3 | 2005, mis en ligne le 01 septembre 2008, consulté le 02 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/quaternaire/397> ; DOI : 10.4000/quaternaire.397

L'ÉVOLUTION PLIO-QUATERNAIRE DU BASSIN DU PUY (MASSIF CENTRAL, FRANCE) : RYTHMES MORPHOSÉDIMENTAIRES ET VOLCANISME



Emmanuelle DEFIVE¹, Agnès GAUTHIER² et Jean-François PASTRE²

RÉSUMÉ

Dans le bassin supérieur de la Loire (Velay, Massif Central, France), l'interaction du volcanisme basaltique plio-pléistocène du Devès (3 à 0,8 Ma) et de la dynamique fluviale est à l'origine de nombreuses modifications morphosédimentaires entre 3 et 0,8 Ma. Dans le bassin du Puy, elles ont abouti à la mise en place d'une séquence sédimentaire fluvio-lacustre de 150 m d'épaisseur qui représente un enregistrement de référence pour la connaissance du Pléistocène inférieur européen. Aux marqueurs biostratigraphiques fournis initialement par les faunes de mammifères sont venus s'ajouter d'autres jalons (palynologie, paléomagnétisme, datations K-Ar, minéraux lourds...) précisant la chronologie du dépôt et le contexte de sa formation. La sédimentation apparaît contrôlée par l'édification en deux temps d'un barrage volcanique à l'exutoire aval du bassin. L'âge de la partie inférieure de ce barrage est fourni par des datations K-Ar qui permettent de fixer vers 2,5 Ma le début de la sédimentation. Cet âge est corroboré par les données chronostratigraphiques fournies par la séquence lacustre de Ceysnac. Les dépôts accumulés au-dessus des alluvions grossières basales anté-barrage témoignent des ambiances lacustres brutalement induites au sein du bassin par ce premier barrage. Malgré la complexité paléogéographique de la zone, les données sédimentologiques et minéralogiques aident à élaborer un schéma évolutif général. Sphène et apatite du Mont-Dore sont ainsi indicateurs de cette première étape dans l'élaboration du remblaiement. De même, l'apparition d'augites vertes du Mont-Dore à la partie intermédiaire du dépôt coïncide avec un regain de détritisme au sein du bassin, corrélatif du franchissement du premier barrage. Cet épisode est mal calé chronologiquement. La mise en place vers 2 Ma d'un deuxième barrage superposé au premier provoque le retour rapide d'une sédimentation lacustre qui prend fin vers 1 Ma. Les coulées du plateau du Devès recouvrent alors largement le secteur, avant leur réincision par la Loire et la Borne. Forçant la sédimentation dans le bassin du Puy, le volcanisme y a permis l'enregistrement des modifications bioclimatiques, qui s'expriment de manière générale par des dépôts fins durant les phases tempérées et des apports grossiers durant les périodes froides. Ces données, corroborées par la palynologie des séquences de Ceysnac et de La Rochelambert, établissent en particulier un détritisme accru lors de phases sédimentaires qui semblent se rapporter à l'Eburonien de la chronologie nordique. En amont du bassin du Puy se pose la question d'une corrélation de ces phénomènes sédimentaires avec l'évolution de la morphologie de la vallée, qui passe d'un berceau à une gorge.

Mots-clés : Bassin du Puy, sédimentation, volcanisme, Plio-Pléistocène, chronostratigraphie.

ABSTRACT

THE PLIO-PLEISTOCENE EVOLUTION OF THE LE PUY BASIN (FRENCH MASSIF CENTRAL): MORPHOSEDIMENTARY RHYTHMS AND VOLCANISM

In the upper river Loire basin (Velay, French Massif Central), the conjunction of the Devès basaltic volcanism (3-0,8 My) and the fluvial dynamics created many morphosedimentary disruptions. In the Le Puy graben, it generated the deposition of a thick (150 m) fluvio-lacustrine and volcanic infilling. This sedimentary sequence offers a reference record for the European lower Pleistocene. The first biostratigraphic markers are given by several classical palaeontological sites. Several other markers can be used now (palynology, paleomagnetism, K-Ar absolute dating, mineral markers...) in order to precise the chronology of this deposit and the context of its development. The volcanism, which created a composite dam blocking the main river exit at the NE part of the basin, can be regarded as a major agent of the sedimentary evolution of the basin. The beginning of sedimentation (2,5 Ma) can be given by the age of the lower part of this dam. This age is confirmed by the chronostratigraphic data of the Ceysnac lacustrine sequence. This first dam caused the lacustrine sedimentation to start over the coarse fluvial deposit of the palæo-Loire prior to the dam. The area of Le Puy basin offers a complex palæogeography, but it is possible to use sedimentological and mineralogical data for proposing a general reconstruction of the evolution. Sphene and apatite from the Mont-Dore are thus connected to this first deposit phase. In the middle part of the whole deposit, green augite from the Mont-Dore appears in a more coarser fluvial accumulation which indicates the last fill of the first dam. We do not know exactly the age of this event. Around 2 Ma, a new dam formed over the previous one causing the formation of a second lake. The second lacustrine sedimentation occurred up to 1 My, when it was interrupted by large lava-flows from the Devès plateau which fossilized the whole plio-pleistocene sedimentary sequence. These flows and the sedimentary layers below were further eroded by the Loire and the Borne rivers. Due to volcanism, the plio-pleistocene sedimentary sequence formed behind the composite dam gives us now informations on bioclimatic influences: a fine sedimentation is contemporary with temperate climatic phases, and a coarser sedimentation signals the cold climatic ones. The pollen data from the classical sequences of Ceysnac and La Rochelambert confirm these results, ascribing the main cold stage to the Eburonian (Nordic chronology). Upstream from the Le Puy basin, in the upper part of the Loire river basin, the Loire valley evolves from stepped slopes to gorges. This morphological evolution can be correlated to the Plio-Pleistocene sedimentary history of the Le Puy basin.

Key-words: Le Puy basin, sedimentation, volcanism, Plio-Pleistocene, chronostratigraphy.

¹ Université Blaise Pascal, Département de géographie, 29 boulevard Gergovia, 63 000 Clermont-Ferrand, et GÉOLAB, Géodynamique des milieux naturels et anthropisés, UMR 6042 CNRS, Maison de la Recherche UBP-CNRS, 4 rue Ledru, 63057 Clermont-Ferrand cedex 1.
E-mail : edefive@aol.com

² Laboratoire de géographie physique, UMR 8591 CNRS, 1 place Aristide Briand, 92 195 Meudon cedex.
E-mail : pastre@cnrs-belleuve.fr et gauthier@cnrs-belleuve.fr

INTRODUCTION

Située au sud-est du Massif Central, le haut bassin de la Loire s'étend sur l'ensemble du Velay (fig. 1). L'histoire tectonique hercynienne et tertiaire y est à l'origine d'un important compartimentage morphostructural lié à deux directions majeures de fracturation : nord-ouest / sud-est et nord-est / sud-ouest. Complexe dans le détail, le jeu différentiel des blocs est responsable, avec le volcanisme, de l'organisation des grands systèmes de pentes auxquels s'est adaptée l'hydrographie. La Loire prend ainsi naissance au mont Gerbier-de-Jonc au niveau d'une zone culminante du socle recouverte par les laves d'âge Miocène supérieur du Velay oriental. Après un détour par le sud, elle adopte à partir d'Arlempdes un tracé sud nord et rejoint le graben tertiaire du Puy-en-Velay. Elle s'en échappe vers le nord par les gorges de Peyredeyre qui franchissent le horst de Chaspinhac interposé entre le bassin du Puy et celui de l'Emblavès.

Ce secteur présente à l'emplacement du bassin du Puy-en-Velay une épaisse séquence sédimentaire

étendue du Pliocène supérieur au Pléistocène inférieur (3 à 0,8 Ma environ), dont l'intérêt pour la connaissance de cette période a été depuis longtemps reconnu (Boule, 1892 ; Bout, 1960a). L'intérêt de cette séquence est renforcé par un contexte géologique et morphologique qui, au travers de jalons chronologiques divers et du témoignage des formes et formations, fournit des éléments complémentaires pour aborder la question des rythmes et facteurs de l'évolution morphosédimentaire plio-quadernaire (tectonique, contexte bioclimatique, volcanisme) :

- Le volcanisme, tout d'abord, permet de disposer de précieux repères chronostratigraphiques, sédimentologiques ou géomorphologiques datés avec plus ou moins de précision par les méthodes radiométriques ou le paléomagnétisme.

Son existence s'exprime principalement par l'édification du vaste plateau basaltique du Devès entre 3 et 0,6 Ma à l'ouest et au sud-ouest du bassin du Puy. L'essentiel des épanchements résulte de deux paroxysmes d'activité situés vers 2 et 1 Ma (Mergoïl et Boivin, 1993). L'importante interaction entre activité volcanique

Fig. 1 : Grandes unités géologiques et structurales du Velay (d'après A. de Goër, 1971, modifié). A : socle hercynien ; B : sédiments tertiaires ; C : volcanisme mio-pliocène du Velay oriental ; D : volcanisme plio-pléistocène du Devès ; E : volcanisme récent du Bas-Vivarais ; 1 : graben des Boutières ; 2 : massif du Velay oriental ; 3 : bassin de l'Emblavès ; 4 : bassin du Puy-en-Velay ; 5 : plateau du Devès ; 6 : plateau d'Alleyrac (Devès) ; 7 : Bas-Vivarais.

Fig. 1: Geological-map of the Velay (after A. de Goër, 1971, modified). A: hercynian basement ; B: paleogene deposits ; C: mio-pliocene volcanism of the eastern Velay; D: Devès plio-pleistocene volcanism; E: Bas-Vivarais recent volcanism; 1: the Boutières graben; 2: Eastern Velay oriental mountains; 3: Emblavès basin; 4: Le Puy-en-Velay basin; 5: Devès plateau ; 6: Alleyrac plateau (Devès); 7: Bas-Vivarais.

	n° d'échantillon	ML montdorien						altitude	Position stratigraphique par rapport au niveau du banc à galets (BG) du méandre de Farges	localisation
		CPX vert	sphène	zircon	apatite	Oxydes Fe Ti	biotite			
Bassin du Puy	94199		•					690	>BG	plaine de Rome
	9467							812	>BG	Ceyssac
	9425		••					801	>BG	col de Taulhac
	9462		X			X	•	794	>BG	Ceyssac
	9461	•					••	791	>BG	Ceyssac
	9420		•••	•		X		790	>BG	Mt de Doue
	9458		••			•	X	786	BG	Ceyssac
	9469	•						786	BG	méandre de Farges
	9412	•	•					785	BG	méandre de Farges
	9470		•••					784	<BG	col de Taulhac
	9459		••			••		784	<BG	Ceyssac
	9415		X			X		784	<BG	col de Taulhac
	9422		•					782	<BG	col de Taulhac
	9428		•					770	<BG	Rachât
	9441		•••			••		764	<BG	Tressac
	9436		•••			••	X	754	<BG	Tressac
	9433		••			X		752	<BG	Tressac
	94198		••	X	X	•••	•	730	<BG	Chambeyrac
	9453			•	X	•••	X	726	<BG	Ceyssac
9451					X	X	726	<BG	Ceyssac	
9447					•••		725	<BG	Ceyssac	
Loire amont bassin du Puy et Gazeille	92206		X	•••	X	•••		900	BG ou < ?	Le Suc, E
	92205	•	•			•		900	BG ou < ?	Le Suc, E
	92208	•	•					940	BG	Le Suc, 940m
	92229	•	•					940	BG	Le Suc, 940m
	92231	•	X	•	•			855	BG	Ceyssoux
	92233	•	•					850	BG	Les Salles RG
	92234	•	•					850	BG	Les Salles RG
	92238	•	•					880	BG	D.37
	93236	•	••	•	•			790	BG	ravin de la Beaume
	93227	•	••	•	•		X	907	BG	Gazeille RG, le Mazel
93233		••			••		950	BG	Gazeille RG, Châteauneuf	

Fig. 2 : Répartition et organisation stratigraphique des retombées de minéraux lourds du Mont-Dore dans le bassin amont de la Loire. Notations d'abondance : • : quelques individus ; •• : commun ; ••• : très abondant ; x : présence sans indication de fréquence ; rien : absence ; grisé : position stratigraphique du banc à galets du méandre de Farges (BG).

Fig. 2: Stratigraphic position of minerals from the Mont-Dore in the upper river Loire basin. Indication of abundance: •: few minerals; ••: common; •••: very abundant; x: presence without indication of abundance; nothing: absence; dimmed: stratigraphic position of the pebbles level of Farges meander (BG).

et évolution sédimentaire du bassin est à l'origine d'une évolution complexe. Dans le bassin du Puy le volcanisme, interférant avec l'évolution fluvio-lacustre, a pris localement un caractère hydromagmatique. En contexte sous-lacustre, les explosions contraintes liées à l'interaction eau-magma ont généré une activité surtseyenne à l'origine d'édifices hyaloclastiques spécifiques dont la structure permet de différencier les parties sous-lacustres et subaériennes. Les hyaloclastites qui en résultent sont associées à différentes intrusions (dykes, necks) qui donnent au bassin ses reliefs caractéristiques. Outre ces édifices, des coulées s'interstratifient dans les dépôts ou les recouvrent en continuité avec le plateau du Devès. Les épanchements les plus récents s'emboîtent quant à eux dans l'axe de la gorge actuelle (plaine de Rome, plaine de Chadrac).

À l'amont du bassin, les coulées du Devès présentes dans la haute vallée de la Loire à partir de Goudet jalonnent des formes modelées dans le substratum cristallin

qui permettent de reconnaître les étapes de l'encaissement du réseau hydrographique.

Les répercussions du volcanisme régional sont en outre enregistrées dans le secteur par la présence de téphras originaires du Mont-Dore dont des minéraux caractéristiques sont repérés en plusieurs points du bassin du Puy et de son amont (fig. 2).

- L'analyse géomorphologique joue également un rôle important dans les interprétations : la juxtaposition d'un secteur amont où ne subsiste que le témoignage des formes en creux liées à l'histoire plio-quaternaire de l'incision, et d'un secteur aval affecté dans le même temps par la mise en place d'une épaisse séquence sédimentaire, permet d'aborder la question des modalités et facteurs de l'évolution plio-quaternaire en tirant partie des complémentarités de ces deux facettes – positive et négative – d'une même évolution (fig. 3 et 4).

La séquence plio-quaternaire du bassin du Puy, à laquelle nous nous intéresserons tout d'abord, fournit l'essentiel des données paléoenvironnementales. Celles-ci renseignent sur les modalités d'une évolution qui, corrélée aux caractères de la section amont, peut ensuite être replacée dans le contexte de l'histoire morphotectonique régionale.

I - LA SEQUENCE PLIO-PLÉISTOCÈNE DU BASSIN DU PUY

1 - STRATIGRAPHIE, SÉDIMENTOLOGIE ET PALÉOGÉOGRAPHIE DES DÉPÔTS

La séquence plio-pléistocène du bassin du Puy s'emboîte dans les dépôts tertiaires du même bassin, partiellement déblayés par la Loire et ses affluents au cours du Pliocène. Son épaisseur maximum atteint 150 m (700-720 à 850 m NGF environ).

L'important cloisonnement morphostructural et l'interaction entre l'activité volcanique et la sédimentation fluvio-lacustre sont à l'origine d'une paléogéographie complexe d'autant plus difficile à reconstituer que les affleurements sont dispersés (fig. 5). La multiplication des observations montre cependant une logique d'organisation spatiale et stratigraphique applicable à l'ensemble du bassin, et permet de proposer une coupe-type (fig. 6). La séquence fluvio-lacustre, subcontinue, y montre dans les grandes lignes une succession stratigraphique divisée en quatre grandes phases :

1) À la base de la séquence (fig. 6, I), différents pouddings alluviaux grossiers situés entre 710 et 730 m d'altitude jalonnent le cours de la paléo-Loire (ravin de Bauzy en rive droite du Dolaison, vallon de Farnier au nord du plateau d'Ours-Mons, flanc sud-est du plateau de Marnhac, ravin de Soye au nord-ouest du plateau de Marnhac). Ils sont constitués de galets de 5 à 15 cm de grand axe. Les cortèges pétrographiques associent quartz et roches du socle, quelques chailles et grès arkosiques, basaltes et phonolites, dans une matrice sableuse grossière peu abondante et ferruginisée. Mis à

Fig. 3 : Profils en travers synthétisant les principales étapes de l'évolution de la vallée supérieure de la Loire du Miocène supérieur au Pléistocène supérieur.

Fig. 3: Main stages of the geomorphological evolution of the upper Loire valley from the upper Miocene to the upper Pleistocene.

Fig. 4 : Profil en long synthétique de la vallée supérieure de la Loire, suivant les principales étapes de l'évolution et particulièrement au cours du Plio-Pléistocène.

Fig. 4: Successive profiles of the river Loire valley during the plio-Quaternary.

part les quartz et les chailles, tous les galets présentent un épais cortex d'altération. Antérieures à la sédimentation fluvio-lacustre, ces alluvions témoignent d'un transit fluvial énergétique s'inscrivant dans la phase d'évidement pliocène de la dépression.

2) Au-dessus de ces nappes, la moitié inférieure de l'accumulation (environ 80 m d'épaisseur ; fig. 6, II)

caractérise un premier épisode fluvio-lacustre révélé par la mise en place de dépôts argilo-silteux, à passées plus sableuses (II.a). Vers le haut, ce premier ensemble sédimentaire évolue vers des faciès sableux à sablo-graveleux lités (II.b) traduisant le passage à un régime fluvial en tresses. Cette évolution est enregistrée au niveau de la plupart des coupes principales du bassin

Fig. 5 : Géologie et formations plio-pléistocènes du bassin du Puy-en-Velay. Topographie : 1 : réseau hydrographique ; 2 : courbes de niveau (équidistance 100 m) ; Structure et géologie : 3 : réseau de fracturation ; 4 : socle ; 5 : formations paléogènes ; 6 : couverture volcanique ; 7 : cônes stromboliens ; 8 : projections et brèches volcaniques diverses ; 9 : brèches basanitiques ; 10 : cratère de maar ; Formations superficielles et fluviatiles : 11 : couverture colluviale indifférenciée ; 12 : formations alluviales actuelles et sub-actuelles et matériaux de déjection ; 13 : alluvions anciennes indifférenciées et nappes alluviales ou colluvio-alluviales résiduelles dégradées ; 14 : formations fluvio-lacustres plio-pléistocènes indifférenciées ; Points d'observation ponctuelle des formations plio-pléistocènes : 15 : nappes fluviatiles grossières, à galets ; 16 : nappes à graviers et gravillons ; 17 : séquences sableuses ; 18 : séquences sablo-silteuses ; 19 : séquences lacustres.

Fig. 5: Geology and plio-pleistocene deposits of the Le Puy-en-Velay graben. Topography: 1: drainage pattern; 2: contour lines (contour interval 100 m); Structure and geology: 3: faults; 4: basement; 5: Palaeogene formations; 6: volcanic cover; 7: strombolian cones; 8: tephras and volcanic breccias; 9: basanitic breccias; 10: maar crater; superficial and fluvial deposits: 11: colluvium; 12: recent and sub-recent fluvial formations and material of alluvial fan; 13: undifferentiated old alluvium and residual degraded alluvial or colluvio-alluvial sheets; 14: undifferentiated Plio-Pleistocene fluvio-lacustrine formations; Local observations of Plio-Pleistocene formations: 15: coarse alluvial sheet with pebbles; 16: alluvial gravel and fine gravel sheet; 17: sandy sequences; 18: sandy-silty sequences; 19: lacustrine sequences.

(coupe du ruisseau de Ceyszac ; coupe de La Rochelambert ; coupe de la Pépinière dans le méandre de Farges), où les sables atteignent une épaisseur de l'ordre de la quinzaine de mètres. La mise en place de ces dépôts pourrait être liée soit à une péjoration climatique responsable d'un regain de détritisme, soit à la progradation vers le bassin de cônes deltaïques, particulièrement dans l'axe de la paléo-Loire.

Dans toute cette moitié basse de l'accumulation, la sédimentation est essentiellement alimentée par l'érosion du socle cristallin et par le remaniement des dépôts argilo-sableux tertiaires du bassin dont la richesse en illite constitue un marqueur caractéristique (Bout,

1960a). Les minéraux lourds issus de retombées aériennes du Mont-Dore sont à ce niveau relativement abondants (méandre de Farges, Tressac, Ceyszac) et dominés par du sphène et de l'apatite automorphes. Ils pourraient dériver d'un téphra mis en évidence dans la coupe de La Rochelambert (voir *infra*), ce type d'association caractéristique n'étant pas fréquent dans les pyroclastites du Mont-Dore (Pastre et Cantagrel, 2001).

3) Vers 785 m d'altitude, à peu près à mi-hauteur entre la base et le sommet de la séquence, apparaît brutalement un banc fluviatile grossier à galets (faciès de poudingue, à matrice sableuse grossière peu abondante

Aux caractères stratigraphiques de cette séquence s'ajoute une logique d'organisation spatiale de la sédimentation témoignant de la paléogéographie générale du bassin. À altitude équivalente, et particulièrement à celle (785 m) de la nappe fluviale grossière représentant le membre intermédiaire de l'accumulation, les dépôts les plus grossiers se concentrent dans l'axe d'un couloir de 2 à 3 km de large joignant directement le cours de la Loire situé à l'amont du bassin (secteur englobant le méandre de Farges et les ravins du Riou et du Dolaizon) à la gorge creusée par le fleuve dans le horst de Chaspinhac, à l'exutoire aval du bassin (plateaux de Chambeyrac - Marnhac et de Rachat). De part et d'autre de cet axe grossièrement sud-nord, la granulométrie des dépôts s'affine progressivement vers l'ouest comme vers l'est. Ainsi, aux galets de 10 à 15 cm de grand axe des bancs grossiers observés à mi-hauteur de la séquence du méandre de Farges, correspondent des niveaux graveleux dans le ravin de Ceyszac, 4 km plus à l'ouest. On repère donc, particulièrement au moment où se produit le regain d'activité fluviale médian, l'axe d'un palécours de la Loire situé dans l'alignement des gorges amont et aval actuelles.

2 - LES JALONS CHRONOLOGIQUES DISPONIBLES

Malgré les apports de la paléontologie des vertébrés, de la palynologie, du paléomagnétisme et des datations radiométriques, le calage chronologique de cette séquence reste très inégal. À la complexité du terrain s'ajoutent les problèmes de datation (K-Ar) induits par l'altération des laves et la présence d'enclaves du socle susceptibles d'entraîner des contaminations.

L'accumulation aurait commencé à se constituer autour de 2,5 à 3 Ma (fig. 6). À Ceyszac (Ablin, 1985, 1991 ; Ablin et Couthures, 1987), le paléomagnétisme positif de sédiments situés à 30 ou 40 m au-dessus des plus bas niveaux sédimentaires actuellement reconnus dans ce ravin (720 m) a été attribué à la période Gauss (Biquand, 1987). Il pourrait s'accorder avec la présence à la partie supérieure de ces sédiments de clinopyroxènes verts du Mont-Dore, qui pourraient provenir des retombées pliniennes trachytiques de Perrier datées à 2,47 - 2,35 Ma (Ly, 1982). Ces âges sont compatibles avec ceux déterminés pour les coulées du plateau de Chambeyrac - Marnhac : $2,64 \pm 0,13$ Ma et $2,49 \pm 0,04$ Ma (Couthures et Pastre, 1983). Mises en place à l'exutoire aval du bassin au-dessus des alluvions grossières de la Loire anté-dépôt, ces coulées auraient bloqué l'écoulement et induit la sédimentation amont. Des témoins existent cependant d'une amorce localement plus ancienne de la sédimentation, en lien avec les phases initiales de l'activité volcanique du Devès. Ainsi à Vialette, en position excentrée par rapport au cœur du bassin (au revers du horst, au nord du plateau de Chambeyrac-Marnhac) et sans connexion avec le reste de la sédimentation, les datations de coulées et de minéraux lourds du Mont-Dore associés aux dépôts donnent des âges compris entre 3,4 et 2,48 Ma (Biquand, 1987 ; Biquand *et al.*, 1981), ou entre 2,92 et 2,48 Ma (Fouris

Fig. 6 : Coupe schématique synthétique de la séquence sédimentaire plio-pléistocène du bassin du Puy. I : alluvions de la Loire anté-dépôt ; II : séquence inférieure fluvio-lacustre, alimentée par le socle et le remaniement des sédiments paléogènes (illite), contexte de faible activité volcanique, présence de sphènes et apatites du Mont-Dore ; IIa : dépôts fluvio-lacustres argilo-silto-sableux ; IIb : sables fluviaux ; III : alluvions grossières ravinantes, basaltiques à 80 %, présence d'augites vertes du Mont-Dore ; IV : séquence supérieure lacustre, cortège appauvri en minéraux lourds du Mont-Dore ; V : coulées basaltiques sommitales.

Fig. 6: Stratigraphic and sedimentologic type-section of the plio-pleistocene sedimentary sequence of Le Puy basin. I: fluvial deposits from the Loire valley prior to the plio-pleistocene sedimentation; II: fluvio-lacustrine lower sequence with material of crystalline basement, reworked paleogene sediments, sphene and apatite from the Mont-Dore, with a low volcanic content; IIa: clayey-silty-sandy fluvio-lacustrine deposits; IIb: alluvial sand; III: coarse basaltic (80%) alluvium with green augite from the Mont-Dore; IV: upper lacustrine sequence, with low content of minerals from the Mont-Dore; V: basaltic lava-flows from Devès.

et ferruginisée) qui s'inscrit en position légèrement ravinante sur la séquence sableuse précédemment évoquée (fig. 6, III). Dans le méandre de Farges (commune de Cussac), la coupe de la Pépinière en donne la meilleure illustration. Les basaltes dominant très largement dans la composition pétrographique de cette formation (80 % environ) qui se développe sur quelques mètres d'épaisseur. Cette décharge fluviale grossière coïncide avec l'apparition, dans le cortège des minéraux lourds, d'augites vertes aciculaires du Mont-Dore absentes des niveaux inférieurs.

4) Après ce regain de la dynamique fluviale, un contexte plus franchement lacustre se réinstalle (fig. 6, IV), comme en témoigne le caractère essentiellement argilo-silteux des 30 à 50 m supérieurs de l'accumulation, par ailleurs appauvrie en minéraux lourds du Mont-Dore.

et al., 1991). Ici comme à Saint-Vidal ou La Rochelambert, P. Bout a signalé (Bout, 1960a, 1963) la présence de quartz bipyramidés que leur rattachement aux retombées pliniennes rhyolitiques du Mont-Dore (Pastre et Cantagrel, 2001) permet de situer vers 3 Ma, mais dont nous n'avons pu retrouver la trace. Leur présence à Vialette est compatible avec le caractère archaïque d'une partie de la faune de ce gisement (*Paleoloxodon Borsoni* de la faune de Montpellier par exemple).

Le calage chronologique de la partie médiane de l'accumulation (fig. 6) ne peut être établi que de manière approchée. Le schéma d'évolution du bassin actuellement en vigueur (Defive, 1996, 1998, 2001 et cet article) permet d'avancer une hypothèse quant au moment de la mise en place de la nappe fluviatile grossière représentée par le banc à galets du méandre de Farges et ses équivalents latéraux (fig. 7). Les corrélations altitudinales la situent entre deux barrages volcaniques édifiés plus à l'aval au niveau du horst (voir *infra*), le premier correspondant à la coulée déjà évoquée du plateau de Chambeyrac - Marnhac ($2,64 \pm 0,13$ Ma et $2,49 \pm 0,04$ Ma ; Couthures et Pastre, 1983), le second aux coulées du plateau de Rachat que les datations fixent dans une fourchette d'âges de 2,34 à 1,70 Ma (Y. Bandet *et al.*, 1978 ; M. Fouris, 1989). Latéralement, les alluvions grossières du méandre de Farges trouvent leur équivalent altitudinal au niveau des sables fluviatiles du membre A5 de la séquence de Ceysac (Ablin, 1985, 1991). Ces sables se placent entre les deux séquences polliniques Cey-4 et Cey-5 que D. Ablin situe d'après les corrélations proposées (Ablin, 1991) avec la climatostratigraphie européenne (Zagwijn et Suc, 1985) au début de l'Éburonien, après l'événement positif d'Olduvai. Sur cette base, un âge voisin de 1,6 Ma pourrait être avancé pour caler cette phase intermédiaire de détritisme. La prudence s'impose cependant aux vues des incertitudes chronologiques qui subsistent (Defive, 1996).

Fig. 7 : Rapport chronostratigraphique entre le banc à galets du méandre de Farges et les coulées situées à l'exutoire aval du bassin du Puy. 1 : socle ; 2 : formations paléogènes ; 3 : basalte ; 4 : dépôts plio-pléistocènes indifférenciés ; 5 : nappes à galets jalonnant le talweg de la Loire anté-dépôt ; 6 : nappe à galets du méandre de Farges et ses équivalents latéraux.

Fig. 7: Chronostratigraphic position of the Farges coarse fluvialite bed in regard with the volcanic dam downstream. 1: basement; 2: paleogene sediments; 3: basalt; 4: undifferentiated plio-pleistocene deposits; 5: coarse fluvial deposit of the paléo-Loire prior to the dam; 6: coarse fluvial deposit of the Farges meander.

Seul le ravin de Ceysac renseigne enfin sur l'âge de la fin du remblaiement sédimentaire. Les argiles sommitales ont été datées par traces de fission sur apatite à $0,91 \pm 0,25$ Ma (Chambaudet et Couthures, 1982). Les coulées qui les recouvrent jusqu'au sommet du plateau appartiennent à la période Matuyama post-Jaramillo de paléomagnétisme négatif (0,9 – 0,73 Ma) et ont donné des âges K-Ar de 0,85 à 0,95 Ma (Cassignol *in* Girod *et al.*, 1979).

Au total la séquence, épaisse de 150 m, s'étend donc du Pliocène supérieur / début du Pléistocène inférieur à la fin du Pléistocène inférieur et se constitue pour moitié au moins dans la première partie de cette période. Dans les années 1960, P. Bout avait soutenu l'idée d'une importante discontinuité dans l'histoire sédimentaire du bassin puisqu'il divisait la séquence en deux unités emboîtées séparées par un important épisode de creusement (premier et second « remblaiements villafranchiens » ; Bout, 1960a, 1963). Notre schéma est en meilleur accord avec l'interprétation initiale de M. Boule qui soutenait l'idée d'un remblaiement unique (Boule, 1892). L'épaisseur de l'accumulation (150 m) pose la question de son origine.

3 - LA QUESTION DE L'ORIGINE DU REMBLAIEMENT SÉDIMENTAIRE

3 a - L'insuffisance des mouvements tectoniques internes au bassin

Pour expliquer la mise en place d'une séquence d'une telle épaisseur, la tentation est grande de vouloir faire intervenir comme facteur principal la tectonique, d'autant que l'on se situe déjà dans un fossé tertiaire. L'idée d'une subsidence importante du bassin, développée par Bout (1960), a ainsi été reprise ultérieurement (Le Griel, 1988, 1991). L'analyse des profils en long successifs de la paléo-Loire, tels qu'ils ont pu être reconstitués à partir de l'analyse morphostratigraphique des niveaux alluviaux grossiers intercalés au sein des dépôts et piégés sous les coulées de lave (fig. 4), infirme cependant cette hypothèse sans pour autant exclure l'existence de mouvements de faible ampleur (Defive, 1996). D'après les décalages longitudinaux observés et les anomalies de pente, c'est au plus 20 à 30 m d'influence qui peuvent leur être attribués, et seulement dans les premiers temps de la constitution du remblaiement. Le pendage faible (0 à 3°) de certains niveaux lacustres (ravins de Ceysac, du Dolaizon...) s'accorde avec ces données.

3 b - Le contrôle climatique de la sédimentation : l'apport des séquences de Ceysac et de la Rochelambert

Les coupes de référence de Ceysac et de La Rochelambert, qui permettent de comparer données sédimentaires et données polliniques, témoignent du contrôle bioclimatique de l'histoire sédimentaire.

Les travaux palynologiques de D. Ablin (1985, 1991) constituent la référence pour la séquence du

ravin de Ceyssac. Cette séquence présente l'alternance de phases forestières tempérées et de phases à formations ouvertes xérophiles situées par cet auteur entre le Tiglien et le Bavelien. La transition Tiglien - Éburo-nien, qui se marque par l'installation d'une végétation steppique, s'accompagne d'après nos observations par un passage rapide de la sédimentation argileuse diatomitique à une sédimentation sablo-graveleuse grossière.

Corroborant ce type d'évolution, nous présentons ici les premiers résultats tirés d'une étude en cours de la séquence de La Rochelambert, coupe située à l'ouest du bassin du Puy dans la vallée de la Borne, principal affluent de rive gauche de la Loire (fig. 5). Sa position par rapport à la stratigraphie générale du bassin est discutée plus loin. L'ensemble de la séquence, de polarité négative, a été attribué à la période Matuyama (Sémah et Biquand, 1979). Trois membres principaux se succèdent sur un peu moins d'une quarantaine de mètres d'épaisseur. Ils sont recouverts par une coulée de basalte dont le degré d'altération ne permet pas la datation (fig. 8).

- Le membre inférieur (RL I) évolue de faciès fluvio-lacustres à des faciès de plus en plus lacustres. Au sommet de cette première unité apparaissent deux bancs de lignite (niveaux 23 et 32-34 de la fig. 8) dont le plus élevé (niveau 32-34) intègre un téphra du Mont-Dore à plagioclases et biotite, riche en sphène et apatite (niveau 33). Celui-ci n'a pu être daté directement mais semble pouvoir être corrélé à un tuf de retombée plinienne caractérisé à la Bouay près de Besse-en-Chandesse (sud du Mont-Dore, Pastre et Cantagrel, 2001), tuf recouvert par une coulée basaltique qui a donné un âge K-Ar de $2,20 \pm 0,25$ Ma (Bourdier et Cantagrel, 1983). La partie médiane (RL IC) de ce membre inférieur contient par ailleurs une faune mammalienne attribuable à la biozone de Saint-Vallier MNQ 17 (Heintz *et al.*, 1974), ce qui permet de la situer dans une fourchette chronologique estimée entre 2,2 et 1,8 Ma (Mein, 1975). Dans toute cette unité inférieure enfin, les minéraux lourds témoignent de la faiblesse de l'activité volcanique dans le bassin amont d'alimentation. À la différence de la situation généralement observée (voir coupe-type, fig. 6, et sa description au chapitre I.1.), sphène et apatite du Mont-Dore n'apparaissent qu'au niveau du téphra intégré à la partie sommitale de cette unité RL I, ce qui suggère l'antériorité chronologique de la partie basse au moins de cette séquence par rapport aux autres coupes du bassin.

- À cette unité succède brutalement un membre sableux d'une quinzaine de mètres d'épaisseur (RL II), marquant un détritisme accru.

- Les dépôts argileux supérieurs (RL III), recouverts par la coulée, traduisent la réinstallation momentanée d'un contexte lacustre. Les minéraux lourds (augite brune basaltique, amphiboles) y expriment désormais une forte influence du volcanisme local.

L'étude palynologique préliminaire menée sur le membre inférieur RL I montre qu'y alternent trois principaux types de formations végétales (fig. 9).

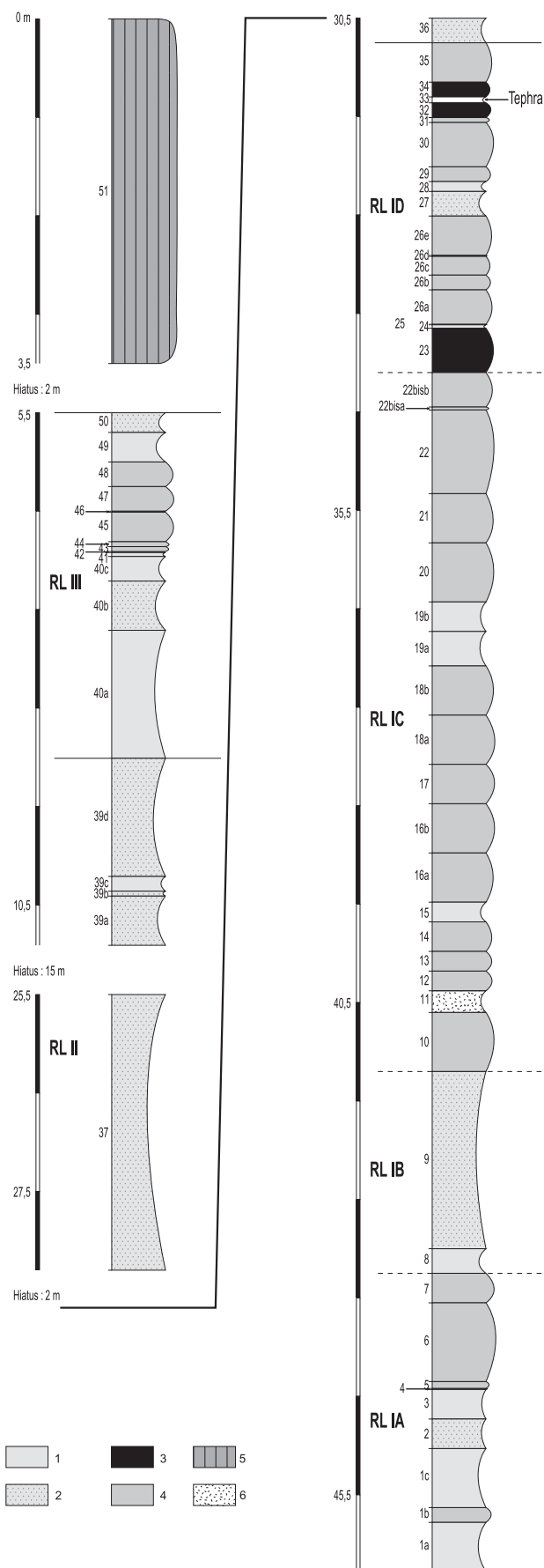


Fig. 8 : Log stratigraphique synthétique de la séquence de La Rochelambert. 1 : sable fin ; 2 : sable ; 3 : lignite ; 4 : argile ; 5 : coulée de basalte ; 6 : tuf phréatomagmatique.

Fig. 8: La Rochelambert synthetic stratigraphic log. 1: fine sand; 2: sand; 3: lignite; 4: clay; 5: basaltic lava-flow; 6: phreatomagmatic tuff.

LA ROCHELAMBERT (Haute-Loire)

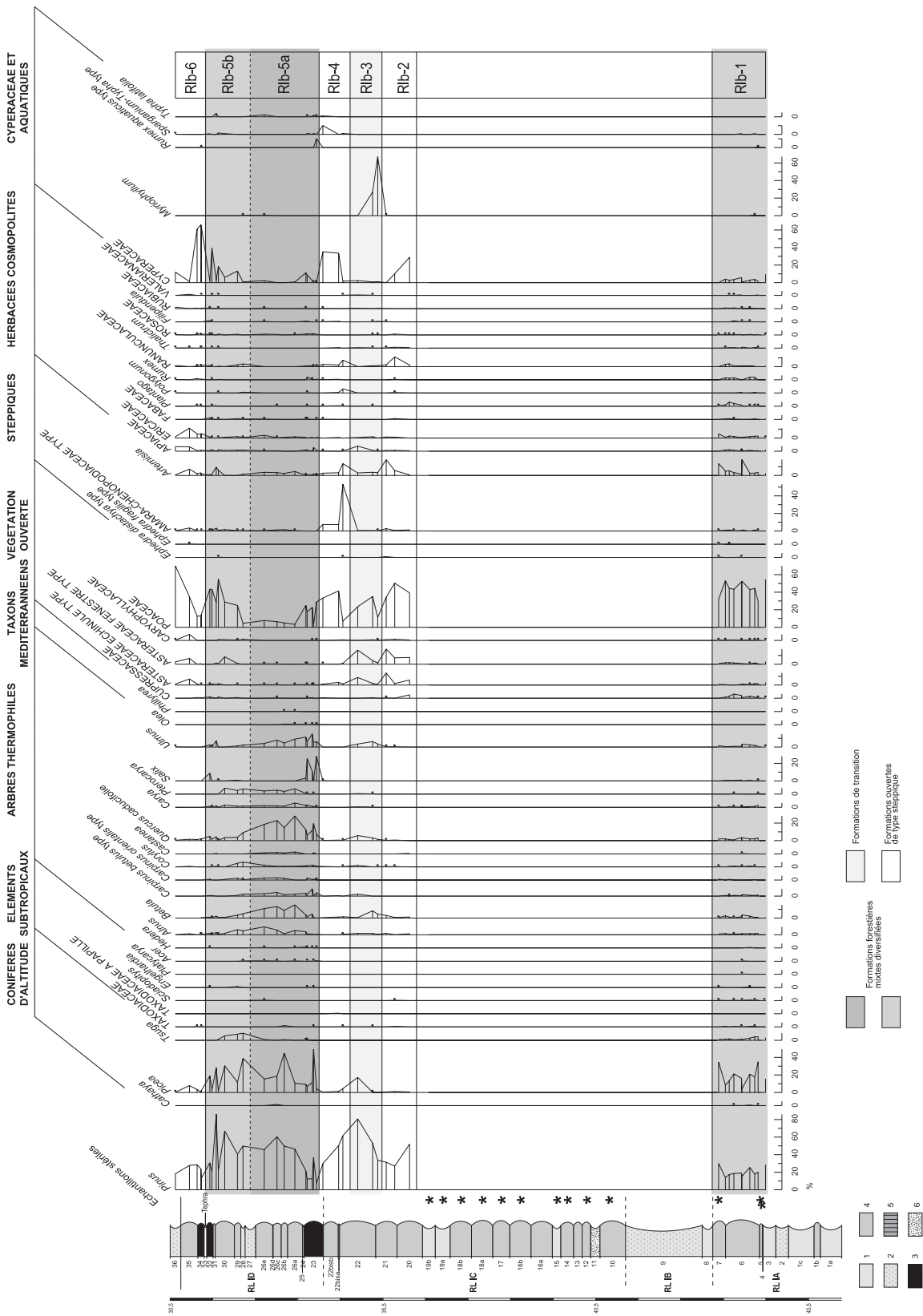


Fig. 9 : Diagramme pollinique simplifié de la séquence de La Rochelambert. 1 : sable fin ; 2 : sable ; 3 : lignite ; 4 : argile ; 5 : coulée de basalte ; 6 : tuf phréatomagmatique.
 Fig. 9: La Rochelambert palynological diagramm. 1: fine sand; 2: sand; 3: lignite; 4: clay; 5: basaltic lava-flow; 6: phreatomagmatic tuff.

- À la base (zone pollinique Rlb-1), les spectres provenant du sommet de l'unité RL IA indiquent la présence d'une formation forestière mixte où dominent *Pinus* et *Picea* associés à quelques feuillus caducifoliés.

- Le sommet de l'unité RL IC témoigne de l'installation d'une formation ouverte de type steppique où *Artemisia* et Amaranthaceae-Chenopodiaceae atteignent des valeurs élevées (zones polliniques Rlb-2 et Rlb-4). Elle est interrompue par un épisode caractérisé par le développement de *Pinus*, *Betula*, *Quercus* caducifolié et *Ulmus* (zone pollinique Rlb-3). Cette formation de transition se distingue des formations forestières mixtes par une diversification nettement moins importante et par les fréquences encore élevées des herbacées héliophiles et steppiques.

- La zone pollinique Rlb-5a reflète le développement d'une forêt mixte décidue dominée par *Quercus* caducifolié associé à *Acer*, *Carpinus betulus* type, *Carya*, *Pterocarya*, *Ulmus* suivi de l'expansion d'une forêt de conifères à *Pinus*, *Picea* et *Tsuga* (zone pollinique Rlb-5b). Cette phase forestière est suivie par une formation ouverte (zone pollinique Rlb-6) où les éléments herbacés et steppiques sont importants et qui précède les dépôts sableux du membre moyen RL II.

Cette alternance de phases forestières et de phases à végétation steppique suggère la succession de phases climatiques chaudes-humides et froides-sèches associée à l'alternance des cycles glaciaire-interglaciaire. La comparaison de ces premiers résultats avec les séquences régionales de Ceysac (Ablyn, 1985, 1991) et de Senèze (Elhaï, 1969) montre une forte similitude dans la composition floristique des phases forestières attribuées pour ces gisements au Tiglien, période à laquelle pourrait donc se rattacher le membre inférieur (RL I) de la séquence de La Rochelambert. Cette attribution au Tiglien nous semble devoir être retenue malgré la proposition de rattachement d'une grande partie de la séquence pollinique de Senèze à un Prétiglien rajeuni compris entre les stades isotopiques 81 et 89 (Roger *et al.*, 2000).

Ces données palynologiques éclairent les données sédimentologiques pour montrer une corrélation générale de la sédimentation fine avec des phases tempérées et attribuer – au moins pour partie – la sédimentation détritique grossière à des périodes de dégradation climatique. Plusieurs changements climatiques significatifs s'opèrent durant la période représentée par le membre inférieur RL I. Cependant, le changement le plus accentué marque le passage du membre inférieur RL I au membre médian RL II. Celui-ci correspond à une phase de détritisme grossier attribuable, compte-tenu des imprécisions chronostratigraphiques, soit à une phase froide intratiglienne, soit à l'Eburonien. Un schéma identique se retrouve à Ceysac. Dans le méandre de Farges au sud-sud-est du bassin du Puy, les sables sous-jacents au banc à galets en position médiane dans la séquence pourrait également s'y rattacher. Les données sédimentologiques présentent en tout cas des similitudes (épaisseur et figures de stratification oblique de l'accumulation

sableuse, encadrement de cette dernière par des dépôts plus fins d'origine lacustre à fluvio-lacustre). Comme il a été dit plus haut, les minéraux lourds poussent néanmoins à voir dans le membre RL I de la séquence de La Rochelambert un épisode sédimentaire antérieur à ceux des coupes de Ceysac, Tressac, et du méandre de Farges. Ces dernières sont en effet enrichies en sphène et en apatite, alors que ces minéraux n'apparaissent qu'au sommet du membre inférieur de la séquence de La Rochelambert. C'est le remaniement du téphra en place à La Rochelambert qui aurait nourri les accumulations postérieures en ces minéraux.

Ces résultats montrent ainsi le rôle du contrôle climatique sur l'évolution de la sédimentation fluvio-lacustre du bassin du Puy. Ce contrôle se manifeste en particulier par le regain du détritisme lors des épisodes de péjoration climatique, que ceux-ci soient attribués à des phases de dégradation intratigliennes ou au contexte globalement plus froid de l'Eburonien.

3 c - Le rôle-clé du volcanisme dans la constitution du remblaiement

Les arguments climatiques ne suffisent cependant pas à comprendre l'origine d'une telle séquence sédimentaire. Ils en éclairent certains des caractères, mais ne résolvent ni la question de son épaisseur, ni celle de l'arrivée, à mi-hauteur de la séquence, d'une décharge fluviale grossière surchargée en galets de basalte et en contact brutal avec les formations encadrantes.

C'est finalement le volcanisme qui semble jouer le rôle principal. L'activité volcanique interférant avec l'histoire sédimentaire a induit une paléogéographie et des dispositifs complexes. Nous avons cependant pu proposer un schéma d'évolution général, ce qui implique un même facteur et un lieu commun d'évolution. Comment un contexte lacustre généralisé a-t-il pu se développer à l'emplacement du bassin du Puy ?

Il a été établi qu'un passage ancien (Pliocène inférieur au moins) de la Loire existait au niveau du horst de Chaspinhac, à peu de choses près au même emplacement que les gorges qui servent actuellement d'exutoire au bassin (Defive, 1996). Cet exutoire existait donc déjà antérieurement à la mise en place de la séquence sédimentaire plio-pléistocène. Les corrélations altitudinales, stratigraphiques et chronologiques nous ont permis de mettre en évidence la trace du chenal de la paléo-Loire anté-dépôt, ainsi que celle d'un cours de la Loire intermédiaire dans l'histoire du remblaiement, matérialisé par l'épisode fluviale grossier précédemment évoqué. Celui-ci ne fait que prolonger au sein du bassin une série de dépôts fluviaux grossiers repérés à l'amont, dont l'augite verte aciculaire du Mont-Dore constitue également le marqueur caractéristique (fig. 2 et 4). À l'exutoire aval du bassin, à l'entrée de la paléo-Loire dans les gorges qui franchissent le horst de Chaspinhac, les alluvions grossières de la paléo-Loire antérieure aux dépôts fluvio-lacustres sont recouvertes par les projections et coulées du plateau de Chambeyrac - Marnhac. Ces observations

permettent de proposer comme cause principale de la sédimentation fluvio-lacustre l'hypothèse d'un barrage volcanique formé à l'exutoire aval du bassin. Le passage du phréatomagmatisme à l'hydromagmatisme matérialisé par les formations du plateau de Chambeyrac - Marnhac (fig. 10) atteste bien la constitution d'un lac en amont, dont la mise en place rapide a modifié le style éruptif et induit la formation des édifices hyaloclastiques nombreux entre Polignac et Le Puy. Ces derniers culminent à une altitude plus ou moins constante de l'ordre de 800 m, ce qui semble indicateur du niveau du lac au moment de leur mise en place. Or cette altitude est aussi approximativement celle de la surface du plateau de Chambeyrac - Marnhac sur laquelle devait se régler le niveau du lac, et celle de l'épisode fluviatile grossier intercalé au sein du dépôt (fig. 7). La convergence de ces éléments permet de considérer ainsi cette décharge détritique comme le témoignage du franchissement du barrage volcanique constitué au niveau du plateau de Chambeyrac - Marnhac. Le retour postérieur à un contexte lacustre matérialisé par une sédimentation à dominante limono-argileuse s'expliquerait, suivant le même schéma, par l'édification d'un nouveau barrage volcanique à l'exutoire : la position et les datations des laves du plateau de Rachat (2,34 à 1,70 Ma ; Y. Bandet *et al.*, 1978 ; M. Fouris, 1989) sont compatibles avec cette hypothèse. Ce plateau situé lui aussi immédiatement en rive gauche des gorges de Peyredeyre domine en effet la surface du plateau de Chambeyrac - Marnhac dont il est actuellement séparé par la vallée du ruisseau de Chalon. La base des coulées qui le forment coïncide avec l'altitude du précédent plateau (780 m), tandis que leur sommet situé vers 840 - 850 m fixe l'altitude du plateau de Rachat au même niveau que le toit du remblaiement.

Il apparaît ainsi que le volcanisme a joué un rôle déterminant dans l'histoire plio-quadernaire de ce bassin. Sans ce barrage, la puissance de l'accumulation (150 m) ne trouverait pas d'explication valable.

De même, c'est à son édification en deux temps que la séquence doit probablement son caractère triphasé (fluvio-lacustre / fluviatile grossier / lacustre), les incidences climatiques étant enregistrées à un autre niveau de détail.

Quoiqu'il y ait coïncidence enfin, il semble possible de faire la différence entre l'origine climatique des sables qui chapeautent la moitié basse de l'accumulation et l'origine conjoncturelle de la décharge fluviatile grossière du méandre de Farges, liée au franchissement du premier niveau de barrage volcanique positionné à l'exutoire aval du bassin. Le comblement de la retenue créée à son amont a en effet permis la reconstitution du profil en long de la paléo-Loire et la reprise du transit fluvial alimenté en alluvions grossières depuis l'amont.

L'influence du volcanisme se marque aussi dans la composition de cette nappe, dont la richesse en basalte (80 %) témoigne de l'importante volcanisation qui affecte alors la vallée et ses abords en amont du bassin du Puy.

II - APPORTS DE L'ÉTUDE DE LA MORPHOLOGIE DES GORGES AMONT ET POSSIBILITES DE CORRÉLATION AVEC LE BASSIN DU PUY

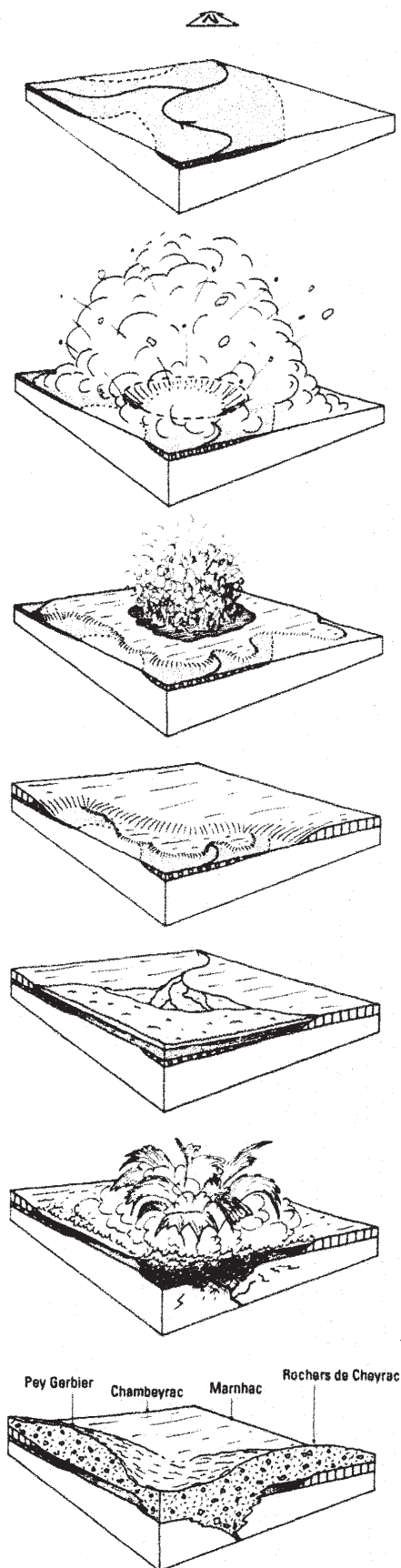
L'étude de la partie amont du cours de la Loire apporte des informations complémentaires aux données fournies par le bassin du Puy, et permet de s'interroger sur le rapport entre l'histoire sédimentaire et l'évolution géomorphologique dans le cadre plus large de l'évolution morphotectonique régionale (fig. 3 et 4).

À l'amont du bassin du Puy, les marqueurs alluviaux se réduisent principalement à des niveaux d'alluvions grossières fossilisés sous les laves du Devès. L'apport des données paléomorphologiques fournies par les replats inscrits au sein de la vallée et par les coulées qui les jalonnent devient alors essentiel.

À l'amont du secteur Arlempdes - Goudet, la vallée de la Loire s'inscrit principalement dans le socle cristallin et prend l'aspect d'une gorge dominée, aux deux tiers supérieurs, par des formes en berceau corrélatives des phases mio-pliocènes de l'incision (fig. 3). Des datations $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ sur coulées (Cantagrel *in* Defive, 1996) permettent de fixer entre 2,8 et 2 Ma le creusement du dernier berceau et de la gorge qui marque en contrebas un brutal changement de style dans la morphologie. Ce changement de style est attribué aux modifications des dynamiques érosives (érosion linéaire plus efficace, et plus exclusive pour la partie basse en gorges), elles-mêmes en relation avec les modifications du contexte bioclimatique (Defive, 1996).

Il faut souligner la coïncidence entre cette phase d'incision et le début de l'histoire sédimentaire du bassin, dans un contexte encore faiblement volcanisé. De même est-on amené à se poser la question d'une éventuelle corrélation entre ce changement de style de la vallée amont et l'accès de détritisme enregistré dans le bassin au sommet de la séquence inférieure de dépôt. La morphologie en gorge de l'amont viendrait ainsi en regard de l'accumulation sédimentaire aval en expliquant une partie de l'origine du matériel sédimentaire et en enregistrant dans les formes (passage du berceau à la gorge) l'influence du contrôle bioclimatique de l'évolution que traduisent les caractéristiques sédimentologiques de la séquence sédimentaire du bassin.

Des incertitudes subsistent cependant quant au calage chronologique des événements. Dans le bassin du Puy, le détritisme invoqué peut se rattacher d'après les données palynologiques aussi bien à l'Éburonien qu'à une ou plusieurs phases de péjoration climatique intra-tigliennes. Dans la section amont de la vallée de la Loire, le spectre des possibilités est plus large puisque l'évolution responsable du creusement du dernier berceau et de la gorge intègre en plus, d'après les datations, une partie au moins du Reuvérien et le Prétiglien. Si les datations K/Ar et $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ des coulées de la section amont permettent de fixer l'âge minimum des gorges dans lesquelles elles s'emboîtent vers 2 Ma, elles



1. A l'amont immédiat des gorges creusées dans le horst de Chaspinhac, la Loire et ses affluents s'écoulent à la surface d'une plaine alluviale élargie dans les terrains essentiellement paléogènes du bassin.

1. Just in the upper part of the gorges of Chaspinhac horst, the Loire river and its tributary flow on the surface of an alluvial plain developed in the Palaeogene formations of the Le Puy basin.

2. Dans ce contexte favorable à la présence de nappes phréatiques, le réveil du volcanisme se traduit par une activité phréatomagmatique violemment explosive.

2. In this good context for the presence of phreatic water tables, the renewed rumblings of volcanism cause a very violent phreatomagmatic activity.

3. Les projections issues des explosions se répartissent à l'intérieur et au pourtour du cratère de maar, tandis que la raréfaction de l'eau dans le système se traduit par le passage à une activité de plus en plus franchement strombolienne, avec fontaines de lave et émission de coulées basaltiques.

3. Tephrae land in and around the maar crater. With the dewatering of the system, the volcanic activity becomes more and more strombolian, with lava fountains and lava flows.

4. Cette phase d'activité effusive conduit à la formation d'un vaste plan volcanique qui recouvre les formations antérieures.

4. This stage of volcanic activity leads to the building of a big volcanic flat which covers the earlier formations.

5. À l'arrière de ce barrage volcanique, le blocage de l'hydrographie déjà amorcé depuis 2 Ma conduit à la formation d'un lac progressivement comblé par l'accumulation de sédiments fluviaux à lacustres.

5. Behind this volcanic dam a lake is progressively filled up with fluvial and lacustrine deposits.

6. Le regain d'activité du volcanisme dans ce contexte lacustre se traduit par un dynamisme de type surtseyen. Les dépôts lacustres partiellement bouleversés se mêlent aux fragments arrachés au substratum cristallin et surtout paléogène.

6. In this lacustrine context, the resumption of volcanic activity leads to a surtseyan dynamism. The lacustrine deposits and the crystalline and Palaeogene substratum are fragmented and mixed.

7. De cette phase d'activité phréatomagmatique naissent les cheminées et anneaux de tufs hyaloclastiques qui forment la masse des reliefs bréchiqes de Cheyrac et du Pey Gerbier. En dehors de la galette de basalte épanchée pour finir au sommet du Pey Gerbier, le barrage volcanique du plateau de Chambeyrac - Marnhac, partie inférieure du barrage volcanique mis en place à l'entrée du horst, est alors intégralement constitué.

7. This stage of hydromagmatic activity gives pipes and rings of hyaloclastic tuff, in the place of brachiated reliefs of Cheyrac and the Pey Gerbier. They form then, with the basalt plateau of Chambeyrac - Marnhac, the bottom part of the volcanic dam built in the way in the horst which closes the Le Puy graben to the north.

Fig. 10 : Étapes de la construction du barrage volcanique du plateau de Chambeyrac-Marnhac.

Fig. 10: Stages of the building of the volcanic plateau of Chambeyrac-Marnhac.

peuvent aussi servir à évaluer l'âge maximum de la décharge fluviale grossière du méandre de Farges (voir *infra*), et poussent alors à corrélérer l'histoire de la partie inférieure du dépôt aux fluctuations climatiques intratigliennes plutôt qu'à l'Éburonien, sans pour autant que puisse être totalement réfutée cette dernière hypothèse.

La section de la vallée comprise entre Goudet - Arlempdes et le bassin du Puy éclaire en effet les événements enregistrés dans le bassin à la partie médiane de l'accumulation (épisode fluviale grossier du méandre de Farges). La Loire s'y inscrit en une gorge épigénique profonde et récente creusée dans l'épaisse succession des coulées du plateau du Devès et dans le socle sous-jacent. Un certain nombre d'affluents de rive gauche la rejoignent par des gorges vigoureuses. Dans ce secteur, les laves épanchées ont totalement masqué la morphologie antérieure, mais les observations effectuées à flanc de versant permettent de reconstituer la trace des paléocours successifs de la Loire (fig. 3). Une première gorge décalée vers l'ouest par rapport à la gorge actuelle peut être corrélée, d'après la morphologie et l'altitude des nappes alluviales associées, à la fois avec la gorge amont et avec les alluvions grossières de la Loire anté-dépôt dans le bassin du Puy. Lors du premier paroxysme d'activité du Devès, vers 2 Ma, cette gorge a été totalement ennoyée par les laves, obligeant la Loire à reprendre son travail d'incision plus à l'est. Les nappes alluviales associées à cette phase de l'évolution forment une suite de niveaux alignés sur la position altitudinale de la formation fluviale grossière médiane du bassin du Puy (fig. 5). La corrélation est renforcée par la présence presque systématique d'augites vertes aciculaires du Mont-Dore (fig. 2). La prépondérance du basalte dans les alluvions s'accorde bien avec cette première phase majeure d'extension des laves, qui a entraîné à l'amont des changements de cours, et a été répercutée dans la sédimentation à l'aval. De même, le retour à un contexte lacustre induit dans le bassin par l'édification du second barrage va de pair avec un nouvel ennoisement amont par les laves émises lors du second paroxysme d'activité du Devès (autour de 1 Ma). Ce paroxysme a obligé la Loire à se décaler une nouvelle fois vers l'est, là où s'inscrira la gorge épigénique actuelle.

CONCLUSION

Le bassin du Puy-en-Velay a constitué au cours du Pliocène supérieur et du Pléistocène inférieur un piège pour la sédimentation alimentée par l'évolution morphologique du haut bassin versant de la Loire. Dès 3 Ma environ s'amorce, localement au moins, une histoire sédimentaire en lien avec les prémices du volcanisme du Devès. La généralisation de cette tendance, à partir de 2,5 Ma, est à mettre au compte du barrage volcanique de l'exutoire aval du bassin du Puy, induisant à son amont une sédimentation lacustre. Jusqu'à

2 Ma, ce barrage ne fait que renforcer les effets de la subsidence modérée du bassin et de l'influence du climat sur la sédimentation. Seul le volcanisme semble apte, par la suite, à expliquer le maintien d'un contexte favorable à l'accumulation jusqu'à 1 ou 0,8 Ma.

C'est donc au volcanisme qu'il faut attribuer le rôle majeur dans la constitution du remblaiement. Il assure et force même la subcontinuité stratigraphique de la sédimentation dans le bassin mais explique aussi la principale des discontinuités (alluvions à galets du méandre de Farges) repérée au sein de la séquence sédimentaire lors du franchissement du premier barrage. Par le blocage de l'écoulement et du fait des modalités de démantèlement des coulées, il exerce un contrôle sur le calibre et le volume de la charge en transit et sur la continuité même de ce transit, perturbée par l'instauration d'un contexte lacustre et, plus généralement, par la complexité des conditions paléogéographiques induites. En conséquence, il a provoqué un important retard dans le progrès de l'incision à l'emplacement du bassin du Puy durant le Pliocène supérieur et surtout le Pléistocène inférieur. Le rattrapage postérieur (Pléistocène moyen) y a abouti à un perchement légèrement supérieur à 100 m du niveau du talweg anté-dépôt par rapport au talweg actuel, tandis que les deux profils se confondent encore à l'amont de Goudet.

Forçant la sédimentation dans le bassin du Puy, le volcanisme a permis l'enregistrement sédimentaire des changements bioclimatiques. Les corrélations locales et régionales entre séquences (Sénèze, Ceysac, La Rochelambert) renforcent la valeur paléoclimatique des enregistrements polliniques et sédimentologiques qui montrent plusieurs récurrences froides au sein de l'accumulation constituée à l'arrière du barrage volcanique. Celles-ci sont vraisemblablement imputables à des phases de péjoration intervenues au cours du Tiglien, ou à l'Éburonien.

Les caractéristiques de la séquence sédimentaire plio-pléistocène conservée dans le bassin du Puy, et celles de la morphologie observable en amont, permettent de formuler des hypothèses quant à la part des différents facteurs dans le contrôle de cette évolution. Hors des particularités locales induites par le dispositif morphotectonique et surtout par le volcanisme, l'évolution enregistre les influences d'un contexte et d'une évolution bioclimatiques conformes aux connaissances acquises pour l'Europe du NW. Ici simplement, une conjonction favorable entre tectonique (soulèvement amont, légère tendance subsidente aval), climat (commande des caractéristiques sédimentologiques du dépôt) et volcanisme (barrages forçant la sédimentation, contrôle de la charge des cours d'eau en éléments grossiers) semble s'être instaurée du Pliocène supérieur à la fin du Pléistocène inférieur pour la constitution d'un enregistrement sédimentaire riche d'enseignements pour la connaissance des deux millions d'années de cette période charnière. Le cadre chronologique de cette évolution reste cependant encore à préciser ; c'est sur le volcanisme local et régional (téphras) que se fondent sur ce plan les espoirs grâce à la multiplication des datations.

BIBLIOGRAPHIE

- ABLIN, D., 1985** - *Approche pollinique des dépôts lacustres de Ceyszac (Plio-Pléistocène du Velay, Massif central français) : flore, végétation et climat*. Thèse de 3^e cycle, Univ. Paris VI, MNHN, 121 p.
- ABLIN, D., 1991** - Analyse pollinique des dépôts lacustres de Ceyszac, Plio-Pléistocène du Velay (Massif central, France). *Cahiers de Micropaléontologie*, nouvelle série, **1** (6), 21-38.
- ABLIN, D. et COUTHURES, J., 1987** - La stratigraphie des formations du vallon de Ceyszac, Plio-Pléistocène du Velay, Massif central français. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 305, 2, 1243-1247.
- BANDET, Y. et al., 1978** - Étude géologique et géochronologique du site villafranchien de Vialette. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7, 20, 3, 245-251.
- BIQUAND, D., 1987** - Les formations villafranchiennes du bassin du Puy-en-Velay et du plateau de Perrier, Massif central, France, conséquences chronostratigraphiques des études paléomagnétiques. *L'Anthropologie* (Paris), 91, 1, 5-28.
- BIQUAND, D., CASSIGNOL, C., CHAMBAUDET, A. et COUTHURES, J., 1981-2** - Nouvelles données chronostratigraphiques concernant les dépôts lacustres de Vialette (Haute-Loire). *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Quaternaire*, Deuxième série, **6**, 83-87.
- BOULE, M., 1892** - Description géologique du Velay. Thèse, *Bulletin du Service de la carte géologique détaillée de la France et des topographies souterraines*, 4, **28**, 259 p.
- BOURDIER, J.-L. et CANTAGREL, J.-M., 1983** - Le volcanisme aux confins des Monts-Dore et du Cézallier (Massif Central français) : nouvelles données chronologiques. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7, t. XXV, 277-280.
- BOUT, P., 1960a** - *Le Villafranchien du Velay et du bassin hydrographique moyen et supérieur de l'Allier. Corrélations françaises et européennes*. Thèse d'État publiée avec le concours du CNRS, Imprimerie Jeanne d'Arc, Le Puy, 344 p.
- BOUT, P., 1963** - Le Quaternaire du bassin supérieur de la Loire, des bassins moyens et supérieurs de l'Allier et de leurs marges. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7, 5, 472-482.
- CASSIGNOL, C., 1979** - Quelques recherches sur la méthode potassium-argon. *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Quaternaire*, 1-2, **58-59**, 27-33.
- CHAMBAUDET, A. et COUTHURES, J., 1982** - Sphene, apatite and zircon fission track dating to recent age. *Internationale Conference on « Solid State Nuclear Track Detectors »*, Tokyo, 1 p.
- COUTHURES, J. et PASTRE, J.-F., 1983** - Chronostratigraphie du Plio-Pléistocène d'Auvergne et du Velay : nouveaux apports des datations radiométriques et du paléomagnétisme. *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Quaternaire*, 2, **13**, 9-18.
- 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, Univ. Paris I, 577 p.
- DEFIVE, E., 1998** - L'encaissement du réseau hydrographique dans la bassin de la Loire supérieure. *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, **1**, 121-132.
- DEFIVE, E. et CANTAGREL, J.-M., 2001** - Chronologie et vitesse de l'encaissement du réseau hydrographique en domaine volcanisé : l'exemple du bassin supérieur de la Loire (Massif central, France). *In Tephros. Chronologie. Archéologie*, E. Juvigné et J.P. Raynal (dir.), *Les dossiers de l'Archéo-Logis*, **1**, CDERAD éd., 25-34.
- ELHAÏ, H., 1969** - La flore sporo-pollinique du gisement villafranchien de Sénéze (Massif central, France). *Pollen et Spores*, Paris, **11**, 1, 127-140.
- FOURIS, M., 1989** - *Les sites villafranchiens du Devès et les basaltes de la vallée de l'Allier : application de la méthode K-Ar*. Thèse de Doctorat, Univ. Clermont-Ferrand II, 206 p.
- FOURIS, M. et al., 1991** - Le Plio-Pléistocène du Velay : volcanologie et chronologie K-Ar des gisements fossilifères, données actuelles, problèmes et hypothèses. Actes des Symposiums 11 et 17 de la 11^e RST, Clermont-Ferrand, 1986, *Cahiers du Quaternaire*, **13**, 401-416.
- GIROD, M. et al., 1979** - *Carte géologique de la France à 1/50 000. Le Puy*. Service géologique national, BRGM, Orléans.
- HEINTZ, E., GUERIN, C., MARTIN, R. et PRAT, F., 1974** - Principaux gisements villafranchiens de France : listes fauniques et biostratigraphie. *Mémoires du BRGM*, **78**, 169-182.
- LE GRIEL, A., 1988** - *L'évolution géomorphologique du Massif central français. Essai sur la genèse d'un relief*. Thèse Lettres, Univ. Lyon II, 3 tomes, 768 p.
- LE GRIEL, A., 1991** - *Auvergne. La mobilité tectonique dans un socle volcanisé*. Livret-guide de l'excursion, 18-21 sept. 1991, rédigé avec la collaboration de R. Etienne, organisateurs R. Etienne, A. de Goër de Herve, Y. Lageat et A. Le Griel, Comité national de Géographie, Commission Géographie physique des socles, 36 p.
- LY, M. H., 1982** - *Le plateau de Perrier et la Limagne du sud : études volcanologiques et chronologiques des produits montdoriers (Massif central français)*. Thèse 3^e cycle, Clermont-Ferrand.
- MEIN, P., 1975** - Résultats du groupe de travail des vertébrés. Report on activity on the RCMNS working group (1971-1975). *IUGS, regional committee on mediterranean Neogene Stratigraphy*, Bratislava, 78-81.
- MERGOIL, J. et BOIVIN, P., 1993** - Le Velay. Son volcanisme et les formations associées. Notice de la carte à 1/100 000. *Géologie de la France*, **3**, 96 p.
- PASTRE, J.-F. et CANTAGREL, J.-M., 2001** - Téphrostratigraphie du Mont-Dore (Massif Central, France). *Quaternaire*, **12**, 249-267.
- ROGER, S., COULON, C., THOUVENY, N., FÉRAUD, G., VAN VELZEN, A., FAUQUETTE, S., COCHEMÉ, J.-J., PRÉVOT, M. et VEROSUB, K.-L., 2000** - ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of a tephra layer in the Pliocene Senèze maar lacustrine sequence (French Massif Central): constraint on the age of the Réunion-Matuyama transition and implications on paleoenvironmental archives. *Earth and Planetary Science Letters*, **183**, 431-440.
- SÉMAH, F. et BIQUAND, D., 1979** - Détermination de la polarité magnétique de sédiments et de basaltes du Massif Central et du Midi méditerranéen français ; interprétation chronostratigraphique. *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Quaternaire*, **1-2**, 83-96.
- ZAGWIJN, W.-H. et SUC, J.-P., 1985** - Palynostratigraphie du Plio-Pléistocène d'Europe et de Méditerranée nord-occidentale : corrélations chronostratigraphiques, histoire de la végétation et du climat. *Paléobiologie continentale*, Montpellier, XIV, **2**, 475-483.