



**CARTE  
GÉOLOGIQUE  
DE LA FRANCE  
A 1/50 000**

BUREAU DE  
RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES  
ET MINIÈRES

# LE PUY

XXVII-35

## LE PUY

La carte géologique à 1/50 000  
LE PUY est recouverte par les coupures suivantes  
de la carte géologique de la France à 1/80 000 :  
au nord : MONISTROL (N° 176)  
au sud : LE PUY (N° 186)

Brioude	Craponne- s-Arzon	Monistrol- s-Loire
Langeac	LE PUY	Yssingeaux
Saugues	Cayres	Le Monastier

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE  
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES  
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL  
Boîte postale 6009 - 45018 Orléans Cédex - France



## NOTICE EXPLICATIVE

### SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	2
<i>APERÇU GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE D'ENSEMBLE ...</i>	2
<i>CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE .....</i>	2
<i>HISTOIRE GÉOLOGIQUE SOMMAIRE .....</i>	3
DESCRIPTION DES TERRAINS .....	3
<i>SOCLE ÉRUPTIF ET MÉTAMORPHIQUE .....</i>	3
<i>FORMATIONS VOLCANIQUES .....</i>	5
<i>FORMATIONS SÉDIMENTAIRES .....</i>	8
<i>FORMATIONS SUPERFICIELLES .....</i>	15
PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES .....	19
<i>ÉVOLUTION TECTONIQUE ET MÉTAMORPHIQUE .....</i>	19
<i>ÉVOLUTION MAGMATIQUE .....</i>	20
<i>MAGNÉTISME .....</i>	23
PALÉONTOLOGIE ET PRÉHISTOIRE .....	24
RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS .....	26
<i>HYDROGÉOLOGIE .....</i>	26
<i>RESSOURCES MINÉRALES .....</i>	27
DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE .....	29
<i>SITES CLASSIQUES ET ITINÉRAIRES .....</i>	29
<i>BIBLIOGRAPHIE .....</i>	29
<i>DOCUMENTS ET COLLECTIONS CONSULTABLES .....</i>	31
AUTEURS DE LA NOTICE .....	31

## INTRODUCTION

### *APERÇU GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE D'ENSEMBLE*

Inscrit au cœur du Velay, le territoire couvert par la feuille le Puy s'étend de la vallée de la Loire à celle de l'Allier qui apparaît dans l'angle sud-ouest. Ces deux cours d'eau sont séparés par le massif du Devès où l'altitude atteint 1299 m à la Durande. De cette ligne de partage des eaux, l'altitude décroît progressivement en direction de la Loire pour aboutir, par l'intermédiaire des plateaux de Loudes et Bains, au confluent de la Borne et de la Loire, légèrement en aval de la ville du Puy. Un court défilé rocheux sépare ce dernier lieu de la dépression de l'Emblavès située au Nord-Est où se relève la plus basse altitude (540 m).

Les unités géographiques, orientées N.NW — S.SE suivant la direction orographique dominante, correspondent à des ensembles géologiques suffisamment distincts pour engendrer des morphologies et des végétations également différentes d'où procède la grande variété des paysages. Mais c'est surtout au volcanisme que cette région doit les caractères qui font sa renommée sur le plan touristique comme sur le plan scientifique. La ville du Puy, installée au confluent de la Borne et du Dolaison, occupe un site unique autour des singuliers reliefs d'Aiguilhe, du rocher Corneille et d'Espaly.

Du point de vue géologique, la feuille n'intercepte qu'une partie de ce qu'il est convenu de nommer le *bassin du Puy* qui se prolonge au Sud-Est et au Sud sur le territoire des feuilles Yssingeaux, le Monastier et Cayres. C'est une aire de subsidence du début du Tertiaire remblayée à l'Eocène puis disloquée par une tectonique de distension ultérieure. L'Emblavès, séparé du *bassin du Puy* par le horst cristallin de Lavoûte-sur-Loire, résulte des mêmes causes.

Le volcanisme revêt dans toute l'étendue de la feuille une grande importance. Les éruptions débutent au Mio-Pliocène dans le Meygal (feuille Yssingeaux) et s'intensifient au Villafranchien dans le *bassin du Puy* qui offre un puissant complexe de coulées basaltiques séparées par des formations fluvio-lacustres célèbres par les Mammifères fossiles que l'on y rencontre. Certaines formations volcaniques sont propres à la région, en particulier, les brèches basanitiques.

Le socle, qui apparaît dans les compartiments surélevés ou à la faveur des grandes incisions quaternaires, est essentiellement constitué par le granite d'anatexie, du Velay, le granite de la Margeride (angle sud-ouest de la carte) et des formations cristallophylliennes.

### *CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE*

Le socle cristallin et les formations volcaniques et volcano-détritiques ont été levés par M. Girod, avec l'aide de Y. Bladier, P. Blanchard, J.-M. Dautria, L. Jardin et Ph. Laurent.

Les formations sédimentaires ont été levées par R. Bouiller. F. Weber, Ph. Larqué et D. Giot ont prêté leur concours pour l'interprétation de la série tertiaire. Les élèves de 4<sup>e</sup> année de l'École des Mines ont contribué à la cartographie de l'Emblavès. Dans le cadre de l'établissement de cette carte, une étude paléomagnétique et thermomagnétique a été effectuée par H. Jonquet et M. Westphal.

Une attention particulière a été accordée aux formations superficielles et particulièrement aux formations colluviales, non seulement en raison de leur intérêt propre dans tous les problèmes d'aménagement du territoire, mais aussi pour les indications qu'elles fournissent à propos de l'histoire du relief. Elles donnent en outre une information non négligeable sur les conditions exactes d'affleurement et d'observation du substrat.

Plusieurs formations signalées dans les éditions de la carte géologique à 1/80000 n'ont pas été retrouvées. Dans la plupart des cas, il convient d'en rechercher la cause dans la profonde transformation du paysage par suite du développement urbain et péri-urbain durant ces dernières décennies. S'il ne pouvait être question de figurer, sur un fond topographique précis, des formations non observées, il a cependant paru indispensable de souligner cette carence dans les rubriques correspondantes de la notice.

### HISTOIRE GÉOLOGIQUE SOMMAIRE

Les matériaux les plus anciens qu'on puisse observer dans cette région sont ceux qui, affectés par les déformations et le métamorphisme durant l'orogénèse hercynienne, forment la série cristallophyllienne. Ils sont d'âge paléozoïque inférieur et/ou précambrien supérieur.

Aucun témoin du Secondaire n'a été observé dans le cadre de la feuille le Puy.

Au début du Tertiaire, des mouvements de subsidence créent des fossés remblayés dès l'Eocène par des matériaux détritiques issus des altérites du socle. Aux sables et arkoses succède une importante série argileuse à concrétions calcaires d'origine pédogénétique, tandis que s'individualisent dans une petite partie du bassin des formations lacustres matérialisées par des couches gypseuses et des calcaires. Les dépôts se terminent dans la région par une nouvelle séquence sableuse.

Une tectonique cassante tertiaire engendre des dénivellations qui accentuent horsts et fossés et inaugurent un cycle de déblaiements préparant ainsi le paysage quaternaire.

L'activité volcanique aurait débuté vers 6 M.A. et s'est poursuivie jusqu'à des époques récentes (0,6 M.A.). Des coulées successives se sont mises en place, les dernières occupant des fonds de vallées. Ces formations couvrent plus des deux tiers du territoire de la carte.

Tout le reste du Quaternaire est marqué par une reprise de l'érosion fluviale qui tend à rattraper certaines cotes de base atteintes au Villafranchien d'où une constante rectification des versants alternativement soumis à des conditions périglaciaires.

## DESCRIPTION DES TERRAINS

### SOCLE ÉRUPTIF ET MÉTAMORPHIQUE

#### Granites

**py. Granite de la Margeride.** Visible dans la partie sud-ouest du territoire de la feuille, il y est représenté par son faciès le plus caractéristique. C'est un granite porphyroïde à grain moyen (1 à 4 mm) et à phénocristaux de microcline pouvant atteindre 10 cm de long (*granite à dent de cheval* des anciens auteurs). Il contient des enclaves de micaschistes et de paragneiss en particulier le long de la D 301 près des Granges.

Le contact de ce granite avec les terrains encaissants est partout très franc, sans métamorphisme de contact clairement défini. La foliation des micaschistes « épouse » dans tous les cas la forme du batholite.

Une étude par la méthode au strontium (Couturier et *al.*, 1971) sur roche totale de faciès différents a permis de définir une isochrone datant à  $401 \pm 24$  M.A. la mise en place des granites porphyroïdes de la Margeride.

$\gamma^3$ . **Granite à cordiérite du Velay.** C'est un granite assez hétérogène, avec de nombreuses enclaves de roches surmicacées, de schistes cristallins, de gneiss œillés, et de migmatites. Daté par Vachette et *al.* (1971) par la méthode au strontium, son âge serait de  $385 \pm 22$  M.A.

Didier (1973) distingue deux faciès principaux : une granodiorite (ou quartzo-monzonite) riche en biotite et un leucogranite à gros cristaux de cordiérite, ce dernier faciès étant le plus répandu entre le Puy et Vorey.

Le passage du granite vers les migmatites à l'Ouest est plus ou moins progressif, avec toutefois une forte prédominance des contacts nets. On remarque également que les enclaves de roches cristallophylliennes, identiques par leur faciès et leur composition aux séries du haut Allier, sont particulièrement abondantes sur la bordure ouest de ce granite.

#### Séries cristallophylliennes

Ces séries affleurent surtout dans la partie nord-ouest de la feuille.

$\xi\zeta^{2-3}$ . **Micaschistes et gneiss alumineux de Jax.** Cet ensemble apparaît d'une façon quasi continue sur la D 51 à l'Ouest de Jax. Il est constitué par une alternance assez irrégulière de gneiss fins feldspathiques et de micaschistes ; les micaschistes sont de plus en plus abondants vers l'Ouest.

Les micaschistes sont des roches sombres, à quartz, biotite, muscovite, andalousite, grenat almandin, sillimanite et minéraux opaques. La foliation est soulignée par les minéraux phylliteux.

Dans la vallée de l'Allier, on retrouve les mêmes faciès avec les mêmes associations minérales mais il apparaît en plus de la staurotide dont les cristaux sont visibles à l'œil nu, de même que quartz, biotite, muscovite, grenat et andalousite, ce minéral étant généralement postérieur aux autres minéraux alumineux. Au microscope, on observe de rares cristaux de disthène, très déformés. L'étude pétrographique montre que postérieurement au métamorphisme (syn-phase 1) qui est à l'origine de tous ces minéraux (sauf le disthène, probablement antérieur) il existe une rétro-morphose qui se traduit par la transformation en pinite et chlorite de nombreux minéraux.

Les gneiss fins sont des roches leucocrates massives et homogènes. On y rencontre de très nombreux microplis isoclinaux de la phase 1, contemporains du métamorphisme ; les minéraux les plus caractéristiques sont le quartz, le feldspath, la biotite, la muscovite, l'andalousite, le grenat, la sillimanite. La staurotide n'a pas été observée.

$\zeta\gamma^3$ . **Orthogneiss œillé.** Cette étroite bande de gneiss œillé appelée couramment « arc de Fix » (F.-H. Forestier, 1961) est orientée nord — sud et traverse le domaine de la feuille au niveau de Fix-Saint-Genès — Vazeilles-Limandre et le Vernet. Elle est constituée de roches massives à gros yeux ovoïdes ou polycristallins de microcline, moulés par la foliation. Les autres minéraux sont le quartz, la biotite, la muscovite (rare), quelquefois la cordiérite. On observe également au microscope de l'apatite et du zircon. La foliation apparaît orientée nord — sud et forme une structure monoclinale à pendage fort généralement vers l'Est. Cette foliation est parfois reprise par des plis tardifs d'axe nord — sud. Ces gneiss proviennent vraisemblablement de la transformation d'un granite monzonitique.

$M\zeta\gamma^3$ . **Gneiss œillé migmatitique.** La mobilisation qui affecte les gneiss œillés de Fix vers l'Est se suit pratiquement du Nord au Sud sur toute la bordure est du massif des gneiss œillés.

La composition minéralogique de ces faciès n'est pas différente de celle des gneiss œillés *sensu stricto*. On retrouve les associations minérales : quartz, biotite, cordiérite ; la muscovite est plus rare ; la sillimanite est parfois présente (Ouest d'Allègre par exemple). La migmatitisation se traduit dans ces formations par un fort

litage, et la roche apparaît « gauffrée » par un très grand nombre de microplis de type *knicks*. Les yeux de microcline ont tendance à diminuer de taille et à s'allonger. Malgré la présence de très nombreuses figures de déformations (*shear-knicks*), la microfabrique n'est pas cataclastique et on peut supposer que l'apparition de ces déformations est contemporaine de la migmatisation (Ramberg, 1952). Ces migmatites sont à comparer aux migmatites à structure diktyonitique de Mehnert (1968)..

**M<sub>γ</sub><sup>3</sup>. Migmatites.** Le passage vers l'Est des gneiss œillés migmatitiques aux migmatites est très brutal. On peut l'observer dans la tranchée de la N 102 entre Fix et Limandre, également dans le lit de la Borne occidentale près de Moulis.

Ces migmatites, comparables aux *layered structures* de Mehnert, affleurent entre Fix et Saint-Paulien et forment une bande nord — sud suivant parfaitement, à quelques détails près, les contours du granite d'anatexie du Velay. Elles présentent des alternances de bancs métriques leucogranitiques et de bancs surmicacés. Ces derniers s'épaississent parfois, se boudinent et forment de gros amas de biotite (1 à 2 m de diamètre). Les parties leucogranitiques sont composées de quartz, de plagioclases (rares), de biotites, et de très nombreuses cordiérites et apatites. Ces séries orientées nord — sud plongent faiblement vers l'Ouest et semblent recouvrir le granite du Velay.

**γ<sup>3</sup>. Filons de microgranite et aplites.** Les formations décrites ci-dessus sont fréquemment recoupées par des filons de microgranite isotrope et parfois même par des granites leucocrates à cordiérite de type Velay.

**δ<sup>11</sup>. Amphibolites.** On trouve dans ces migmatites des enclaves boudinées d'amphibolites. La dimension moyenne va de la taille d'un bloc à quelques dizaines de mètres. Elles sont composées de hornblende verte, plagioclase, quartz, biotite et grenat. Les principaux affleurements sont visibles aux alentours de Vernassal (Chante-Gris, Mazet).

**π<sub>g</sub><sup>2</sup>, π<sup>1</sup>. Pyroxénites à grenat et péridotites serpentinisées.** On trouve sur la N 102 un peu après Limandre, en allant vers Fix, une roche vert sombre, marbrée de traînées rosées. Cette roche signalée par Pascal en 1865 est décrite par F.-H. Forestier (1961) comme une pyroxénite à grenat riche en grossulaire et diopside hédenbergitique. Elle est associée à quelques amphibolites à plagioclase d'origine incertaine.

**ξ<sub>M</sub>. Enclaves dans le granite du Velay.** Les enclaves du granite du Velay sont de taille et dimensions variables : les faciès les plus fréquents sont des schistes cristallins, des migmatites et des enclaves surmicacées ; les deux premiers ne sont pas sans analogie avec les séries observées à l'Ouest, dans la région de Fix ; il existe aussi des péridotites serpentinisées.

## FORMATIONS VOLCANIQUES

### Généralités

Couvrant plus des deux tiers du territoire de la carte, les formations volcaniques constituent la partie septentrionale de la chaîne du Devès ; elles ont été étudiées par M. Boule (1892) dont les levés correspondent à la première édition de la carte géologique à 1/80000, puis par P. Bout dont les travaux (1967) sont à l'origine de la 3<sup>e</sup> édition. Il s'agit essentiellement de vastes coulées de nature basaltique (basalte, hawaïtes et mugéarites). Les centres d'émission volcaniques (cônes stromboliens, maars) sont nombreux mais irrégulièrement répartis : la plupart sont localisés sur un axe N.NW — S.SE passant approximativement par Siaugues-Saint-Romain et le Vernet, axe qui se prolonge plus au Sud (feuille Cayres).

Contrairement à une opinion admise jusqu'à une date récente, les formations volcaniques ne datent pas uniquement du Villafranchien ; elles couvrent en fait une

période beaucoup plus vaste, comme l'indiquent les déterminations d'âge par la méthode K/Ar et celle des traces de fission (tableau 1).

TABLEAU 1. ÂGE DES FORMATIONS VOLCANIQUES

Matériel analysé	Localité	Âge M. A.	Référence
Zircon alluvionnaire	Dolaison	5,49	J.-P. Carbonnel et al., 1973
Zircon alluvionnaire	Dolaison	3,20	J.-P. Carbonnel et al., 1973
Zircon alluvionnaire	Riou-Pezzouliou	6,90	
Hawaïte		2,81	
Hawaïte		5,11	J.-P. Carbonnel et al., 1973
Hawaïte		2,89	J.-P. Carbonnel et al., 1973
Hawaïte		3,0	J.-P. Carbonnel et al., 1973
Basalte	Sinzelles	1,3	Azzaroli, 1967
Basalte	Sinzelles	1,4	H. Bellon, 1971
Brèche basanitique	la Malouteyre	2	P. Bout, 1966
Basalte	Saint-Arcons	2,70	J.-M. Cantagrel et Prévot, 1971
Basalte	Saint-Arcons	1,20	J.-M. Cantagrel et Prévot, 1971
Basalte	Saint-Arcons	0,94	J.-M. Cantagrel et Prévot, 1971
Basalte	Saint-Arcons	0,59	J.-M. Cantagrel et Prévot, 1971
Basalte	Ceyssac	0,85	Cassignol (an. nouvelles)
Basalte	Ceyssac	0,94	Cassignol (an. nouvelles)
Basalte	Ceyssac	0,94	Cassignol (an. nouvelles)
Basalte	Ceyssac	0,95	Cassignol (an. nouvelles)

Si on admet les valeurs proposées par J.-P. Carbonnel et al. (1973), à partir des zircons de la région d'Espaly, l'activité volcanique aurait débuté vers 6 M.A.; cette phase ancienne est cependant difficilement décelable car les laves s'y rapportant sont recouvertes de coulées plus récentes.

Les brèches basanitiques (villafranchiennes), ainsi que les autres formations de même âge ont une extension suffisante pour pouvoir servir de repère dans une chronologie des phénomènes volcaniques. Ainsi, dans le cadre de l'établissement de cette carte, nous avons distingué des coulées antérieures ou contemporaines du Villafranchien (c'est-à-dire interstratifiées dans les brèches basanitiques ou autres formations de cet âge), des coulées postérieures aux dépôts villafranchiens et enfin, épousant des morphologies creusées dans les précédentes ou occupant des fonds de vallées, des coulées très récentes.

La distinction sur le terrain entre basaltes alcalins *sensu stricto*, hawaïte (basalte à andésine) et mugéarite (basalte à oligoclase) est impossible. Sauf dans le cas très particulier des hawaïtes du Sud d'Espaly, nous n'avons pas cherché à individualiser sur la carte ces divers types pétrographiques dès lors regroupés sous le terme général de basaltes alcalins.

#### Laves massives

$_{1\beta^2}$ . **Basaltes alcalins antérieurs ou contemporains des dépôts villafranchiens.** —  $_{\beta_{HM}^2}$ . **Hawaïtes.** À la faveur de l'érosion, on peut observer sous les coulées du plateau du Devès des épanchements antérieurs ou contemporains des dépôts villafranchiens. Les vallées de la Borne, du Dolaison, de Ceyssac offrent des coupes qui permettent d'observer non pas un emboîtement de coulées (hypothèse retenue sur la carte 1/80 000, 3<sup>e</sup> édition), mais l'interstratification de celles-ci avec des sédiments. C'est

à Pisse-Vieille, au Sud d'Espaly, qu'affleurent les laves les plus anciennes : il s'agit de basaltes à andésine (hawaïtes) notés  $\beta_{HM}^2$ , dont une particularité tient à la présence de zircons (Riou-Pezzouliou).

$2\beta^2$ . **Basaltes alcalins postérieurs aux dépôts villafranchiens.** Les épanchements qui forment l'entablement du plateau du Devès sont postérieurs à la brèche basanitique et autres formations villafranchiennes; leur mise en place s'est effectuée dans un intervalle de temps compris approximativement entre 1,3 et 0,5 M.A. La coulée de Sinzelles (1,3 M.A.) fait partie des plus anciennes; celles de Ceyszac sont plus récentes (0,8 à 0,9 M.A.). La coulée supérieure de Saint-Arcons, située à la limite occidentale de la carte, date de 0,6 M.A. Les épanchements sont orientés soit vers la vallée de la Loire, soit vers celle de l'Allier; ils sont issus de stratovolcans souvent égueulés mais les conditions d'affleurement ne permettent pas souvent de rapporter à chaque cône la (ou les) coulée(s) qui en sont issues.

$3\beta^2$ . **Basaltes alcalins récents.** Les basaltes les plus récents apparaissent surtout dans la région du Puy. À ce groupe appartient le volcan Sainte-Anne (Nord-Est du Puy) et celui de la Denise, dont les coulées reposent sur des surfaces d'érosion très récente; il n'est pas possible de préciser l'âge de ces manifestations (certainement inférieur à 0,5 M.A.). Le cône de la Denise est riche en enclaves de socle (gneiss à cordiérite, granite) plus ou moins transformées par métamorphisme thermique.

$\beta_N, \beta_F$ . **Necks et filons basaltiques.** Les centres d'émission les plus anciens ont subi une érosion poussée aboutissant à la mise à nu des necks et filons. On les rencontre dans la vallée de la Loire (Gendriac, Bouzols) ou dans d'autres vallées secondaires (Farge). Quelques-uns apparaissent aussi sur le horst de Chaspinhac — Lavouête-sur-Loire (Monredon) ou dans d'autres zones où le socle crystallophyllien a été mis à nu par érosion (Ceyszac). Les directions des filons sont en général conforme à la direction générale des alignements volcaniques, c'est-à-dire N 150° E.

$ts\beta^2$ . **Pyroclastites de cônes stromboliens.** Les cônes volcaniques villafranchiens et plus récents sont très nombreux; localisés pour la plupart dans la partie ouest du territoire de la carte, ils sont constitués de scories et lapilli basaltiques et renferment de nombreuses enclaves crustales (parfois catazonales) ainsi que des périclites, des pyroxénolites et des amphibolites. A noter également la présence de corindon (Croustet, la Denise), de zircon (Croustet) et de gros cristaux de néphéline.

### Brèches basanitiques

$br\beta$ . **Les brèches basanitiques** de la région du Puy sont connues depuis longtemps, non seulement comme matériaux de construction, mais aussi en raison des discussions et controverses sur leur origine. Décrites par A. Lacan (1954) puis par P. Bout (1960), elles sont constituées de fragments de verre basaltique plus ou moins hydraté (palagonite) emballés dans un ciment d'apparence argileuse de nature palagonitique. Ces roches particulières sont localisées dans la région même du Puy et constituent souvent des reliefs remarquables (rocher Saint-Michel au Puy, Polignac, Cheyrac...). En plusieurs endroits, notamment à Cheyrac, ces brèches présentent une disposition de cuvette synclinale avec des strates plongeant vers le centre (P. Bout, 1973)

L'étude paléomagnétique de ces formations (A. Jonquet et *al.*, 1975) a montré que les directions d'aimantation (inverses) sont bien groupées, ce qui atteste le caractère thermo-rémanent de l'aimantation. Ces matériaux se sont donc mis en place à une température supérieure à celle du point de Curie (400 à 600° environ); ces résultats permettent d'écarter définitivement l'hypothèse d'une mise en place à froid en milieu aqueux. Le fait que les directions d'aimantation restent bien groupées dans une structure « synclinale » comme celle de Cheyrac montre que l'acquisition de l'aimantation est postérieure au « pendage », celui-ci étant contemporain du dépôt.



Postérieurement à leur mise en place, les brèches basanitiques ont subi localement un remaniement : sur le versant sud du Dolaison par exemple, elles passent latéralement à des conglomérats.

Les mesures paléomagnétiques jointes aux déterminations par la méthode K/Ar permettent de rapporter à la période inverse de Matuyama (~ 2 M. A.) la mise en place des brèches basanitiques.

La présence, en très grande abondance, de verre basaltique hydraté (palagonite) suggère que la formation de ces roches est imputable, au moins *pro parte*, à des éruptions en milieu aqueux (nappes phréatiques, lacs villafranchiens...).

**brL. Brèches à matériaux grossiers polygéniques.** Ces brèches très hétérogènes par la nature et les dimensions de leurs éléments constitutifs sont d'âge villafranchien ; situées stratigraphiquement sous les coulées qui constituent le plateau du Devès, elles affleurent surtout à la faveur des vallées qui l'entaillent (régions de Borne, Rochelimagne, Blanzac, Vissac...). Elles sont constituées d'éléments volcaniques (basaltes massifs ou scoriacés), d'éléments argileux ou calcaires (oligocènes), de nodules de limonite. Les proportions de ces divers éléments varient considérablement d'un affleurement à l'autre. La coupe du ruisseau de Riat (Nord-Est de Blanzac) donne une idée de cette hétérogénéité (fig. 1).

**br. Brèches à petits éléments.** Les brèches *brL* passent latéralement et verticalement à des brèches de même nature mais dans lesquelles les éléments sont de plus petites dimensions.

L'ensemble des formations *brL* et *br* correspond à celles désignées par P. Bout sous l'expression « dépôts périglaciaires » et figurés sur la carte à 1/80 000 par les symboles **a<sup>1</sup>gl<sup>a</sup>** et **a<sup>1</sup>gl<sup>b</sup>**. En plusieurs endroits, les dépôts ont livré une faune caractéristique du Villafranchien (Sinzelles, la Malouteyre, Soleilhac...); ils sont donc contemporains, au moins en partie, des brèches basanitiques.

L'origine de ces brèches pose des problèmes qui ne sont pas encore résolus. P. Bout leur attribue une origine climatique (dépôts périglaciaires), hypothèse qui n'est pas admise par tous. L'absence ou la rareté de débris scoriacés primaires, l'abondance de matériaux non volcaniques, la structure même des dépôts ne permettent pas non plus de les rapporter à des lahars.

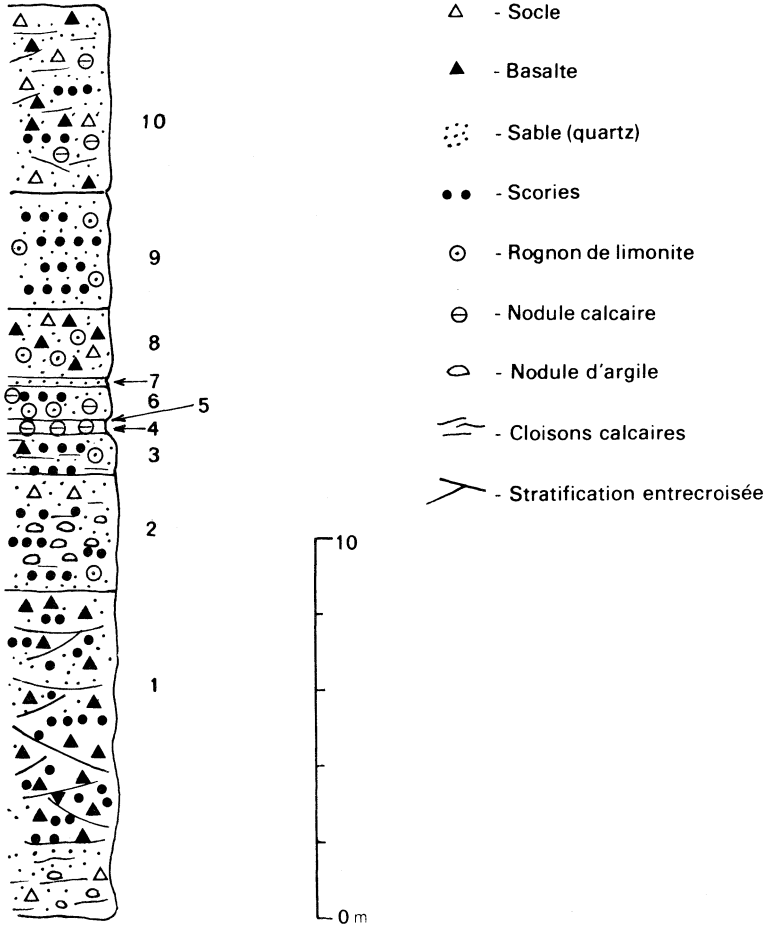
**ts-ci. Projections diverses.** Sous la notation *ts-ci*, sont regroupées des projections diverses localisées, n'ayant aucune signification régionale apparente ; la plupart d'entre elles sont des tufs et des cendres volcaniques. On les rencontre notamment en aval de la coulée de Coste Blanche, à la Chazotte, à l'Ouest de Rachat. Certaines ont une stratification régulière très fine et montrent un pendage assez élevé (Ouest de la Denise). On y observe dans certains cas des lapilli accréionnés qui attestent la nature pyroclastique de certains de ces dépôts.

**brM. Projections de maars.** La présence de maars constitue l'une des originalités volcaniques de la chaîne volcanique du Devès ; sur le territoire de la feuille le Puy, on en compte six, trois localisés au Nord et au Sud de Saint-Paulien (Saint-Geneyts, Chavagnac, Nolhac), trois autres au Sud de Siaugues-Saint-Romain (marais de Limagne, Lespitalet, Saint-Bérain). Leur âge est probablement villafranchien. Les brèches qui les accompagnent sont tout à fait caractéristiques (abondance des éléments du socle, stratification régulière, strates faiblement inclinées, lapilli accréionnés, antidunes...) et résultent certainement d'éruptions phréatiques.

## FORMATIONS SÉDIMENTAIRES

### Eocène—Oligocène

Les formations tertiaires occupent deux fossés : le *bassin du Puy* et l'Emblavès, séparés par le horst cristallin de Lavoûte—Chaspinhac. De petits lambeaux sédimen-



**Fig. 1 - Coupe du ruisseau de Riat**

- 1 - Niveau inférieur à prédominance d'éléments basaltiques et stratification entrecroisée
- 2 - Brèche hétérométrique à nodules argileux
- 3 - Brèche à éléments de basalte scoriacé
- 4 - Banc à nodules de calcaire blanc
- 5 - Croûte ferrugineuse
- 6 - Niveau à nodules calcaires et rognons de limonite
- 7 - Joint de sable
- 8 - Niveau à nodules de limonite, fragments de roche et de basalte
- 9 - Brèche hétérométrique dans laquelle prédominent des fragments de basalte scoriacé
- 10 - Brèche hétérométrique à cloisons calcaires

taires situés sur ce horst témoignent des mouvements postérieurs et la question peut se poser de savoir si les deux dépressions actuelles ne formaient pas à l'origine un seul bassin. La stratigraphie établie par Bertrand de Doue (1823) était, de bas en haut :

- arkoses de Brives-Charensac,
- argiles et marnes sans fossiles,
- calcaire de Ronzon.

Tournaire, puis M. Boule (1892) introduisent l'idée que les couches gypseuses et calcaires ne représentent qu'un faciès local. La notion de faciès de bordure essentiellement sableux est soutenue par V. Gabis (1963) qui réalise la première étude minéralogique des argiles. Les travaux récents de F. Weber et Ph. Larqué (1973) précisent cette composition minéralogique et les principes d'équivalence des divers faciès de la série.

La détermination par de Saporta (1870) de la flore des arkoses de Brives-Charensac lui a permis de dater celles-ci de l'Eocène moyen.

La série argileuse et calcaire a été rapportée successivement à l'Eocène supérieur, au Miocène des anciens auteurs, puis à la base de l'Oligocène (Sannoisien).

La faune de Mammifères des gypses du Puy (mont Anis) doit être rapportée à l'Éocène terminal (Ludien) du fait de la présence de *Palaeotherium magnum* qui n'a jamais été signalé plus récent que l'Éocène (H.-G. Stehlin, 1909; R. Lavocat, 1951).

La riche faune du calcaire de Ronzon est une faune type d'une zone de Mammifères du Stampien inférieur (H.-G. Stehlin, 1909; R. Lavocat, 1951; J.-L. Franzen, 1972).

La troisième édition de la carte géologique à 1/80 000 ne présente encore aucune délimitation de faciès, à l'exception des arkoses de Brives-Charensac. Dans la présente carte, les différentes unités lithologiques observées dans la série ont été représentées. Elles sont décrites ci-dessous, dans l'ordre le plus probable de la mise en place des dépôts, étant entendu que les variations latérales de faciès dans le bassin interdisent d'établir une échelle stratigraphique rigoureuse.

**eK. Arkoses de Brives et de Chaspinhac.** Ces arkoses forment une petite cuesta à Brives-Charensac, sur la rive droite de la Loire, et affleurent sur la rive gauche sous la Chartreuse. Selon Bertrand de Doue, le lit du fleuve serait creusé dans la même formation. Cette roche très dure, de couleur claire mouchetée de taches rouille dues à l'oxydation des pyrites, a été exploitée jadis pour des travaux de construction. Elle est composée de quartz et feldspaths potassiques avec plagioclases et micas en moindre quantité.

Les minéraux argileux, peu abondants, sont l'illite, la montmorillonite et la kaolinite. L'illite est toujours dominante, la kaolinite peut être absente. Localement la stratification est entrecroisée : les bancs, mal individualisés, révèlent à Brives un léger pendage ouest. L'épaisseur totale des couches est de 15 à 20 mètres.

Le sens du pendage serait inverse à la Chartreuse où affleurent des poudingues quartzeux, des grès micacés et des psammites. Ces derniers renfermeraient la flore déterminée par de Saporta (1870).

Les arkoses de Brives, érodées avant le dépôt des sédiments postérieurs, forment une corniche ennoyée dans la série argileuse ; localement le contact entre ces grès et les sédiments postérieurs a pu être observé : le grès est faiblement altéré et recouvert d'une patine ferrugineuse ocre.

Trois autres petits lambeaux d'arkose peuvent être rattachés aux formations de Brives. Ils sont situés sur le horst cristallin, autour de Chaspinhac : au Sud-Est du mont Serre, au Sud-Est de Brouilhac et enfin à l'Est de Chaspinhac, le long de la faille méridienne qui coïncide avec la limite de la carte. D'autres lambeaux plus

étendus existent à l'Est (feuille Yssingaux) et ont donné lieu à des exploitations depuis l'Antiquité (pierre de Blavozy). À Blavozy, au contact de l'arkose, le granite est arénisé sur une épaisseur de 2 à 3 mètres. La base de la formation est conglomératique à stratification oblique, la partie médiane, exploitée, offre le même faciès qu'à Brives. Au sommet, des bancs de grès de 0,50 à 1 m alternent avec des bancs argilo-gréseux de même épaisseur. La puissance de l'ensemble est de 50 à 60 mètres.

**eSi. Sables inférieurs.** La Série argileuse repose normalement sur le socle (sauf à Brives où il y a transgression sur les arkoses) et débute souvent, mais pas constamment, par des sables et argiles sableuses rouges, ou bariolés rouge-vert, dépourvus des concrétions calcaires qui caractérisent les niveaux supérieurs. Une grésification locale est fréquente (Soddes et Orcenac, près de Saint-Paulien ; Nord-Ouest de Bichaix, sur la rive droite de la Loire). Le grès, ainsi constitué, diffère des arkoses du type Brives par la couleur gris rougeâtre à violacée et sa friabilité.

La fraction sableuse est constituée de quartz peu roulé et feldspaths (microcline principalement et oligoclase). La fraction argileuse comporte de la kaolinite et de l'illite ; exceptionnellement elle renferme également de la montmorillonite au contact du socle (Orzilhac) et dans de minces passées à ciment calcaire (Rozières, feuille Yssingaux).

Les sables et argiles rouges peuvent atteindre une dizaine de mètres ou être réduits à un mince lit difficile à observer sur les versants masqués par des colluvions. Cette formation est en outre très affectée par des phénomènes de solifluxion (Chanceaux, Brives). La tuilerie de Malescot, à l'Est de Brives-Charensac, exploite ce niveau caractéristique.

**eA, eAv. Formation argileuse illitique.** Aux sables inférieurs succède une formation essentiellement argileuse à concrétions calcaires. Cette formation profondément entaillée par le ravinement marque le paysage de ses teintes pastels dont l'alternance souligne la stratification.

Assez abondants à la base de la formation dans les niveaux de transition avec les sables inférieurs, les éléments détritiques sont en proportion très faible dans tout le reste de la formation argileuse. Ils peuvent disparaître complètement dans sa partie médiane (à Brives-Charensac et à un degré moindre à Orzilhac). Ils réapparaissent vers le sommet de la formation (Orzilhac) ou bien deviennent plus abondants (Rozières).

D'une manière très générale, le calcaire est concentré dans des nodules qui sont en fait des tubules implantés verticalement dans les argiles ; ils sont particulièrement abondants dans les niveaux bleu-vert. Cependant, dans la région d'Orzilhac, les argiles à tubules calcaires sont précédées par une alternance de bancs calcaires discontinus et d'argile. À Brives-Charensac on retrouve, dans la partie médiane de la formation, des bancs marno-calcaires moins bien individualisés qui se chargent en dolomite vers le sommet.

L'illite est le constituant essentiel, parfois unique de la phase argileuse, et même de la roche totale. Elle est généralement accompagnée d'un peu de kaolinite ; celle-ci disparaît dans l'horizon à bancs calcaires d'Orzilhac et de Brives-Charensac et réapparaît au sommet de la formation ; elle précède le retour des éléments détritiques grossiers. La montmorillonite, généralement absente, apparaît d'une manière discrète dans quelques bancs de la partie médiane de la formation à Brives-Charensac.

L'épaisseur de la formation argileuse peut atteindre 150 mètres (Nord de Brives-Charensac) ; elle paraît moindre dans l'Emblavès et serait même réduite à une vingtaine de mètres au Nord-Ouest de cette dépression.

**eM. Couches gypseuses, marnes et argiles.** Le gypse a été exploité autrefois à Cormail, à Estrouilhac et au mont Anis sur lequel s'étend la ville du Puy. Ces petites exploitations sont abandonnées depuis plus d'un siècle ; il n'en subsiste, outre le souvenir perpétué par la rue et la place de la Platrière du Puy, qu'une entrée de galerie d'exploitation encore visible actuellement à Cormail. Les seules données (M. Boule, 1892) que l'on possède sur ces gisements sont les relevés effectués par Aymard sur quelques puits d'exploitation en 1834-35 : aucun affleurement de couches à gypse n'est connu actuellement. Les couches de gypse étaient intercalées dans des marnes feuilletées ou massives, plus ou moins argileuses, de couleur bleue, verte ou blanche. Les marnes à gypse ont livré de nombreux fossiles : empreintes de plantes et d'insectes, carapaces de *Cypris*, Mollusques (Limnées et Planorbes) et Mammifères (*Palaeotherium magnum*, *P. muehlbergi*...).

La composition minéralogique de la fraction argileuse des marnes à gypse proprement dites est inconnue. Cependant, quelques prélèvements effectués dans la région de Cormail, l'un dans l'ancienne galerie d'exploitation du gypse, d'autres sur un affleurement où les rayons X révèlent des traces de gypse, contiennent de l'illite comme minéral dominant, la kaolinite étant subordonnée. Il ne semble pas d'ailleurs y avoir de doute sur le fait qu'au moins à Cormail les marnes à gypse se rapportent à la série argileuse illitique (M. Boule, 1892, p. 65).

**gS. Sables de la Laussonne (2<sup>e</sup> séquence), sables supérieurs.** Cette deuxième séquence sableuse n'est conservée qu'en un petit nombre de lieux : mont Saint-Maurice, mont du Say, pour ce qui concerne le *bassin du Puy*. Dans l'Emblavès, ces sables supérieurs s'observent au Nord de Malleys de Cèneuil et constituent la majeure partie des couches disposées à l'Ouest contre le horst granitique et limitées par des failles. Ces sables surmontent les argiles vertes ; ils renferment souvent des concrétions calcaires et localement des dalles de calcaires gréseux (encroûtements pédologiques anciens). Leur couleur est verte ou bariolée vert-rouge (marmorisations pédologiques), avec des teintes plus délavées que dans les sables inférieurs avec lesquels la confusion est cependant possible. Aussi, il y a indécision pour certains lambeaux isolés de l'Emblavès.

Très développés au Sud-Est de la faille du Puy, dans la région du Monastier-sur-Gazeille, où débordant largement la série argileuse illitique, ils reposent sur le socle, ils disparaissent vers le centre du bassin, à l'Ouest du mont Saint-Maurice.

Ces sables sont en moyenne plus riches en feldspaths que les sables de la base et selon V. Gabis (1963) la proportion d'oligoclase y est plus importante. La fraction argileuse comporte, outre l'illite et la kaolinite, de la montmorillonite qui est souvent prépondérante.

**gM. Calcaires et marnes de Ronzon.** Les sables de la Laussonne, du moins dans leur partie supérieure, passent latéralement, au centre du bassin, à une formation lacustre marno-calcaire. Le passage peut être observé dans le lit de la Laussonne (feuille Cayres). Ces calcaires ont été exploités jusqu'au début du siècle à Espaly-Saint-Marcel, par galeries dont certaines sont encore partiellement accessibles. Ils forment le soubassement du mont Ronzon et d'une partie de la ville du Puy ; ils se poursuivent au Nord jusqu'aux environs de Pognac et au Sud jusqu'à la Terrasse (feuille le Monastier). Les affleurements sont rares et restreints ; il n'y a guère que la vallée de la Borne, aux environs du Paradis et surtout les falaises des berges de la Loire au méandre des Farges qui fournissent des coupes partielles, de quelques dizaines de mètres, la puissance totale ayant été estimée par M. Boule (1892) à une centaine de mètres.

D'après les observations des auteurs anciens (M. Boule, 1892) au mont Anis et à Estrouilhac, la formation calcaire de Ronzon succède immédiatement aux marnes à gypse, tandis qu'à Cormail les marnes à gypse sont surmontées par 30 mètres au moins d'argiles au sommet desquelles apparaissent les premiers bancs calcaires.

La formation est constituée d'une alternance de bancs métriques d'un calcaire marneux, gris-beige, assez tendre (70 à 85 %  $\text{CaCO}_3$ ) et de marnes gris-vert à noirâtres. Les fossiles, Planorbis et surtout Limnées, sont très abondants, aussi bien dans le niveau calcaire que dans le niveau marneux. À la cassure fraîche, les calcaires dégagent une odeur sapropélique. Des marnes noires, particulièrement riches en débris de coquilles et des niveaux de lignite de quelques décimètres s'intercalent aux Farges dans le sommet de la formation. Au mont Ronzon, cet ensemble est surmonté par des argiles marneuses vertes alternant avec des petits bancs de calcaires en plaquettes à *Cypris*. Aux Farges, la formation calcaire est surmontée par une trentaine de mètres d'argiles ou marnes sableuses rouges et vertes, dans lesquelles s'intercalent de petits niveaux de calcaires à Limnées. Cet ensemble se termine par des argiles rouges immédiatement surmontées et ravinées par les argiles jaunes et brunes et les sables ocre à galets de basalte du Villafranchien. Les marnes et calcaires de Ronzon ne sont jamais dolomitiques; la fraction argileuse est constituée d'illite, de montmorillonite et d'interstratifiés; la kaolinite est accessoire. Les niveaux marneux contiennent souvent une faible quantité de quartz détritique.

Les calcaires et marnes de Ronzon sont riches en fossiles de toutes sortes : plantes, Mollusques, Insectes, Poissons, Batraciens, Reptiles, Oiseaux et surtout Mammifères. Rappelons que la faune de Mammifères de Ronzon définit la zone-type la plus inférieure du Stampien (et de l'Oligocène).

#### Mio-Pliocène

La carte à 1/80 000 figurait, près de Beaulieu, un petit lambeau d'alluvions à chailles noté **mp**, rattaché aux formations à chailles des environs du Monastier. Sans préjuger de l'âge de celles-ci, la formation résiduelle de Beaulieu a été notée **RF**. Il s'agit de quelques galets de chailles et de phonolites qui proviennent vraisemblablement d'un lambeau alluvial quaternaire démantelé dont les matériaux siliceux ont subsisté dans les colluvions de versant.

Dans l'étendue de la feuille, aucune formation ne peut être avec certitude rapportée au Miocène ou au Pliocène. Cette période semble surtout correspondre à des déblaiements.

#### Villafranchien

Les sédiments villafranchiens s'associent étroitement, dans le *bassin du Puy*, à des coulées de lave et des projections volcaniques de la même époque. Il en résulte un puissant « complexe » qui a comblé la dépression surimposée au fossé éocène. Parmi les sédiments dominant des sables dits à *Mastodontes* (M. Boule, 1892) du fait de l'abondance des ossements de Mammifères découverts dans ces couches.

Ces formations, jadis considérées comme pliocènes, ont été étudiées à nouveau par P. Bout (1960). S'appuyant sur les gisements fossilifères et surtout sur les coupes-types du Dolaison, P. Bout distingue deux remblaiements emboîtés séparés par une phase de creusement. Chaque remblaiement est protégé par des coulées volcaniques, la plus basse altimétriquement étant la plus récente.

Les levés très précis (1/25 000), effectués lors de l'établissement de cette carte, conduisent à abandonner l'hypothèse des emboitements au profit d'une simple superposition des coulées et des sédiments, comme l'envisageait initialement M. Boule.

S'il est possible localement, comme aux environs du Puy, de dégager une succession-type des formations, il semble exclu de définir une lithostratigraphie générale à l'échelle du bassin, en raison même des conditions de mise en place des sédiments en régime fluvio-lacustre, de la diversité des apports et des remaniements consécutifs au volcanisme.

En ce qui concerne les Mammifères fossiles, un examen des conditions de gisement laisse apparaître que nombre de découvertes anciennes restent mal

localisées, proviennent de terres labourées dont la formation-mère n'est pas identifiée avec certitude, où s'inscrivent dans des complexes colluviaux non rattachés aux unités lithostratigraphiques définies par ailleurs. L'ordre de succession des faunes a fait elle-même l'objet de plusieurs révisions. Les travaux paléontologiques récents, basés sur une conception de systématique des populations, apportent des précisions très utiles. C'est ainsi que E. Heintz (1970) a pu subdiviser le Villafranchien à partir des Cervidés. Le Villafranchien inférieur est représenté, dans le *bassin du Puy*, par la seule faune de Vialette que P. Bout rattachait aux sables supportant les basaltes des plateaux (1<sup>er</sup> remblaiement ou p<sup>2a</sup> du 1/80 000) mais cette relation est malaisée à démontrer et le critère d'altitude est insuffisant pour établir des synchronismes. Le Villafranchien moyen correspondrait aux gisements fossilifères de la Rochelambert et de Saint-Vidal. Là encore, le rattachement de ces couches au reste du *bassin* n'est pas évident; cela reviendrait à dater du Villafranchien moyen les niveaux inférieurs de Prnlary et des Farges. Au Villafranchien supérieur sont rapportées les faunes de Sinzelles et Ceysaguet qui datent ainsi les derniers phénomènes volcaniques des plateaux.

**FL $\gamma$ . Sédiments fluvio-lacustres alimentés pour l'essentiel par les roches granitiques.** Ce sont, soit des sables peu usés d'une composition voisine de l'arène granitique, de couleur rousse, soit des sables essentiellement quartzeux, renfermant parfois de petits galets de quartz, et témoignant d'une plus grande évolution des matériaux avec début de classement. Des bancs d'argiles s'intercalent localement et des paléosols se développent juste en dessous des coulées basaltiques; au contact des basaltes une rubéfaction est fréquente. La stratification est régulière, souvent entrecroisée dans les sables. L'épaisseur varie beaucoup d'un secteur à l'autre. Sous la Garde de Taulhac, les couches sableuses reposant sur l'Éocène atteignent une trentaine de mètres; elles sont recouvertes par une coulée elle-même surmontée de nouvelles couches de sables et graviers sur plus de 30 m encore. C'est certainement dans ce secteur que le Villafranchien atteint son épaisseur maximum. Ailleurs, les couches se réduisent souvent à 0,50 ou 1 m et, malgré leur constance, peuvent échapper aux observations par suite de l'abondance croissante des blocs basaltiques aux abords de la corniche formée par la lave. La carte ne figure par conséquent que les plus importants affleurements et nombre de coulées reposent en fait sur une formation fluvio-lacustre ou un paléosol villafranchien.

Les formations FL $\gamma$  renferment des graviers en divers points, en particulier dans la vallée de la Borne entre la Rochelambert et la Chazotte; un banc beaucoup plus constant dans le secteur sud de Taulhac mérite un examen à part. La fraction grossière en est constituée par des galets de 5 à 10 cm de granite, quartz, basalte, phonolite, auxquels se joignent accessoirement quelques chailles à patine jaune. Un sable roux, peu argileux, s'insinue entre les galets pressés les uns contre les autres. Une ferrétisation légère aboutit par place à un conglomérat compact. Dessus et dessous affleurent des sables blonds. Le banc de gravier, épais de 2 à 3 m, s'observe dans le talus de la route des Farges, en dessous du col de Taulhac, vers 775 m d'altitude. Il se suit aisément au-dessus de la route de Cussac entre la coulée basaltique du plateau et celle située sensiblement au niveau de la route. Il affleure encore, à la même altitude, le long de la N88, mais disparaît à l'Ouest sur le versant de Prnlary où les couches FL $\gamma$  sont uniquement sableuses. Il s'agirait d'un chenal fluvial dont l'extension vers le Nord serait peut-être jalonnée par les chailles et galets résiduels épars dans les champs entre Ours et Mons. Une formation analogue, mais dont les galets sont de moindre taille, s'observe à Marnhac, vers 735 mètres.

**FL $\beta$ . Sédiments fluvio-lacustres alimentés pour l'essentiel par des matériaux volcaniques.** Les formations fluvio-lacustres du Villafranchien accusent en certains secteurs une alimentation mixte, à la fois par les altérites du socle et les matériaux volcaniques. Ces derniers peuvent dominer. Ce sont en général des scories de faible

dimension, des lapilli et des projections diverses, remaniées et sédimentées, souvent très altérées. Des bancs ainsi constitués affleurent au Sud-Ouest de Vals, dans les ravins situés entre Laval et Bauzy, au Nord-Est de Marnhac, vers 740 m d'altitude, ainsi que dans le secteur de Farreyroles.

Certaines formations **FL $\beta$**  convergent vers les « tufs » et projections qui peuvent contenir également des grains de quartz et il est quelquefois malaisé d'apprécier le degré de remaniement. Ainsi en est-il à Sinzelles pour la couche fossilifère.

### FORMATIONS SUPERFICIELLES

D'origines variées, résultant de processus divers, ayant subi des remaniements, les formations superficielles ne se prêtent pas à une stratigraphie régionale. Les données chronologiques sont d'ailleurs trop dispersées pour permettre une disposition de la légende suivant l'ordre habituel. Si les levés conduisent à définir de nombreuses formations, il n'est pas toujours possible de les individualiser à l'échelle de la carte. Dans ce cas, les unités cartographiques regroupent plusieurs d'entre elles. Il sera distingué successivement :

- les altérations du socle et des roches volcaniques,
- les colluvions (formations de versant),
- les « complexes » de formations,
- les alluvions.

**AR $\gamma$ . Altération du socle et des roches volcaniques.** L'altération des roches granitiques et métamorphiques, susceptible d'une définition ponctuelle, est néanmoins trop variable pour se traduire cartographiquement à 1/50 000. Le granite du Velay présente à ce point de vue les mêmes caractères que les autres granites du Massif Central : une altération pelliculaire, très extensive, coexiste avec une altération pénétrante localisée au voisinage des accidents.

L'altération des formations volcaniques varie suivant la nature des roches (laves, scories, brèches indurées, etc.) et la situation du gisement (plateau, falaise, versant). La désagrégation joue souvent un rôle plus important que l'altération chimique proprement dite.

Les coulées, aisément repérables sur le pourtour des plateaux, sont généralement masquées en surface par un sol, fréquemment cultivé, élaboré lui-même à partir de la désagrégation et de l'altération du basalte. L'épaisseur de cet écran est variable, souvent inférieure au mètre, semble-t-il, et ne justifie pas une représentation à l'échelle de 1/50 000.

L'attention est néanmoins attirée, sur ces plateaux basaltiques, par des dépressions peu profondes mais régulières, circulaires mais également de formes quelconques, désignées par le toponyme *le Lac* (Sud-Ouest de Loudes ; la Marade, à Lissac ; Sud de Saint-Paulien ; Sud-Est de Nolhac, etc.).

La genèse de ces dépressions ne paraît pas avoir été expliquée et les données manquent quant au remplissage éventuel.

Les matériaux des cônes stromboliens (scories et projections diverses) et des brèches présentent localement une altération importante caractérisée par une grande friabilité (base du cône des Roches à Saint-Geneyès-près-Saint-Paulien) ou une induration (brèches notées **a'gl** sur le 80 000<sup>e</sup>).

### Colluvions

Résultant pour l'essentiel des alternances climatiques du Quaternaire supérieur, des phénomènes de ruissellement et de solifluxion, les colluvions masquent fréquemment les versants en dépit de leur faible épaisseur (de 1 à 3 m). Liée à cette évolution, il convient de noter, d'une manière générale, la dissymétrie des versants : les pentes nord, nord-est et nord-ouest sont moins fortes et supportent une plus grande épaisseur colluviale. Il existe, bien entendu, de nombreuses exceptions dues à l'hétérogénéité des formations et des substrats.



**Cγ. Colluvions granitiques.** L'altération et la désagrégation des roches granitiques alimentent des colluvions représentées sur la carte chaque fois que leur importance le justifiait en fonction de l'échelle. Ce sont, soit des blocs de quelques centimètres noyés dans un sable, soit, plus fréquemment, des arènes. Ces colluvions revêtent les glacis situés en piémont, le long de la bordure occidentale faillée de l'Emblavès où elles masquent parfois complètement l'Éocène. Atteignant probablement plusieurs mètres d'épaisseur au pied de l'escarpement, elles se terminent en biseau vers l'Est pour se mêler aux colluvions **Ce** ou aux matériaux de déjection **J**.

Des arènes recouvrent aussi le substrat érodé des anciens méandres de la Loire dans les gorges de Peyredeyre (le Cheylard, Gourgaya, Nord-Ouest de Lavoûte, etc.). Des lambeaux d'alluvions peuvent se dissimuler sous ces formations qui renferment, localement, des galets résiduels.

**Ce. Colluvions sablo-argileuses, accessoirement marneuses, dérivant de l'Éocène.** Ces colluvions, observées en surface, rarement en coupe, traduisent surtout l'existence d'une couverture continue qui gêne considérablement l'étude de l'Éocène. L'existence de passages latéraux et de failles interdit toute extrapolation. Si, dans la plupart des cas, la formation **Ce** dérive étroitement des sédiments éocènes et reste superposée à ceux-ci, elle peut aussi déborder sur d'autres substrats.

La composition varie en fonction de la nature des couches qui ont alimenté ces formations de versant : essentiellement sableuse dans le Nord de l'Emblavès, plus habituellement argileuse par ailleurs dans l'un et l'autre bassin, argilo-calcaire autour du Puy.

**Eβ. Méga-blocailles des « clapiers ».** Ces formations chaotiques sont bien connues en haute Loire. Sur le territoire de la feuille le Puy, les clapiers sont surtout développés dans la vallée de la Borne (Saint-Vidal), du Dolaison et du Chalon (Blanzac, Nord de Chambeyrac). Ils peuvent aussi être masqués et intégrés dans les complexes **A** ou les formations **C** (*cf. infra*).

Ces coulées de blocailles, sans matrice interstitielle, résulteraient de l'action du gel sur les affleurements basaltiques et auraient progressé grâce aux coins de glace qui séparaient les blocs à l'origine. Ce type de dépôt peut avoir plusieurs mètres d'épaisseur. Le clavier des Rivaux, entaillé par la Borne en face d'Espaly, supportait une faune et un outillage lithique rapportés au Moustérien, ce qui confirme l'âge wurmien de ces formations.

**Cβ. Colluvions hétérogènes résultant du démantèlement et de l'altération des laves, scories, brèches.** L'extension de ces formations autour des appareils éruptifs et des coulées est telle qu'elle interdit toute observation sur les substrats. Il s'agit de petite blocaille et menus fragments de roche, noyés dans une matrice sablo-argileuse provenant de l'altération des roches volcaniques mais aussi pour une part non négligeable des résidus de l'Éocène ou encore de matériaux empruntés aux formations **FL** du Villafranchien. Sur certains versants l'épaisseur dépasse 2 m (Blanzac). Par souci d'éviter les surcharges, aucune distinction n'est faite sur la carte entre les colluvions issues des laves, cas le plus général, et celles dérivant des scories et des brèches.

#### Complexes de formations

**A. Complexe de versant : blocaille basaltique, sables et argiles affectés par une intense solifluxion.** Cette unité cartographique est imposée par les imbrications et les superpositions anormales des couches affectées dans certains secteurs par des glissements et des effondrements impressionnants. Ces complexes de pente sont généralement localisés dans des cirques qui entaillent tout un versant jusqu'aux coulées basaltiques des plateaux. La vallée de la Borne à Saint-Vidal, celle du Dolaison entre les Vigneaux et le Pont de la Roche, le vallon de Ceysac, en offrent des exemples. La prédominance attendue de ces phénomènes sur les versants nord est contrariée par divers facteurs secondaires et en particulier des sapements à la

base dus aux cours d'eau. Le modelé de ces versants, en multiples et irrégulières banquettes soulignées par la mise en culture, est caractéristique. Leurs instabilité est due à la présence des argiles éocènes surmontées des sables fluvio-lacustres villafranchiens recouverts par les coulées basaltiques. Aux sables correspond une nappe aquifère responsable des glissements (*loubines* en langage local). P. Bout mentionne des découvertes néolithiques (Chasséen de Cormail, près Espaly) en relation avec les éboulements et permettant de dater ceux-ci des *phases post-glaciaires*. Mais le travail d'érosion doit remonter aussi à des altérations climatiques antérieures et les formations en résultant ont pu disparaître par déblaiement fluvial ou être reprises dans les dépôts plus récents. Des mouvements de solifluxion se décèlent encore actuellement (Saint-Vidal ; lotissement des Farges et coulée à l'Ouest de celui-ci).

Les multiples possibilités d'alimentation se traduisent par une composition très variée où la blocaille basaltique se mêle à des sables et argiles sur des épaisseurs difficiles à apprécier mais certainement importantes.

**C1, C2. Colluvions sablo-argileuses des bas-versants et fonds de vallons.** Les colluvions **C1** forment des dépôts de piémont qui résultent de l'accumulation des matériaux de ruissellement et de solifluxion issus des versants. Leur nature est globalement sablo-argileuse, localement argilo-calcaire. Les données manquent quant à l'épaisseur de ces colluvions qui se terminent en biseau sur **C2** ou les alluvions.

Les colluvions **C2** tapissent des vallons en berceau, parfois en continuité avec **C1**. Ce sont fréquemment des formations *suspendues* sans relation directe vers l'aval avec d'autres colluvions ou alluvions mais au contraire séparées de celles-ci par un seuil rocheux. Uniquement visibles en coupe lors de travaux exceptionnels, ces colluvions sont malaisées à définir et leurs contours s'appuient essentiellement sur une morphologie caractéristique.

**CF. Colluvions et alluvions indifférenciées : argiles, sables et graviers.** C'est encore le manque de données qui conduit à créer ce « complexe » **CF** en divers secteurs où, soit une imbrication des colluvions et des alluvions, soit un recouvrement des secondes par les premières est probable (Vernassal, la Marade, etc.).

**Cv. Remplissage des *maars* et autres dépressions fermées : matériaux volcaniques remaniés et résidus du ou des substrats.** Si les projections de *maar* situées à l'extérieur du cratère sont aisément réparables (notation *brM*), la nature du remplissage de la dépression constituée par l'explosion est le plus souvent inconnue. Il est prévisible que ce remplissage doit être constitué de matériaux volcaniques et de débris du socle. En outre, certains *maars* ont fonctionné en lac et peuvent donc renfermer des couches résultant d'un tel régime (diatomites). Des formations tourbeuses occupent souvent une partie de la dépression cratériforme.

À côté des *maars* authentiques, de morphologie caractéristique, il existe des dépressions fermées ou presque fermées, dont le remplissage est également très complexe et en partie d'origine volcanique. Tel est le cas des formations des Bois-Grands, au N.NW du mont Courant. Les coupes du chemin forestier révèlent une accumulation importante de sédiments constitués par des argiles, des sables et des matériaux volcaniques de divers calibres. Les strates régulières sont pratiquement horizontales. C'est le creusement d'une branche du ruisseau de Ramey qui semble avoir atténué le caractère de dépression encore visible cependant.

À l'Est de Blanzac, les formations sableuses ou sablo-argileuses de Soleilhac, enfermées dans un anneau de brèches et connues par leur faune du Quaternaire moyen, évoquent aussi un dépôt en dépression fermée, ouverte par le surcreusement du Chalon.

Le vallon au Sud de Nolhac, ainsi que certains autres notés simplement **C**, posent le même problème.

**Formations alluviales**

**J. Matériaux de déjection : sables et graviers.** Sans être totalement absentes du bassin du Puy, ces formations torrentielles sont particulièrement développées dans l'Emblavès au pied du horst granitique de Lavoûte—Chaspinhac où elles s'étalent sur les sédiments éocènes et rejoignent parfois les alluvions (Chalagnac, Pimparoux, les Rouzeyroux). Une déviation du ruisseau sur le bord du cône est la règle actuelle. En dépit de la fraîcheur des formes de certains cônes, il faut considérer des unités cartographiques résultant de la superposition, de l'imbrication ou de l'emboîtement de plusieurs formations. Observées dans plusieurs carrières, elles montrent une stratification assez régulière, le pendage étant approximativement conforme à la pente actuelle de la surface des cônes. Des blocailles alternent avec des sables et graviers ; les blocs sont émoussés mais les véritables galets peu fréquents. Tous ces matériaux sont granitiques ; le basalte est rare mais non absent. L'épaisseur dépasse souvent 4 mètres.

La plupart des formations **J** visibles ne peuvent dater que du Quaternaire supérieur. Comme les alluvions antérieures à **Fx**, les anciens cônes **J** ont été en majeure partie déblayés.

**F, Fv, Fw, Fx, Fy. Alluvions anciennes : limons, sables et graviers.** Les alluvions anciennes caractérisent les vallées d'une certaine importance et notamment celle de la Loire. Si, par rapport au 80 000<sup>e</sup> antérieur, cette carte a permis une meilleure représentation des lambeaux d'alluvions, leur chronologie relative n'a été esquissée complètement que dans l'Emblavès. Le rattachement des lambeaux isolés s'avère aléatoire et la notation **F** (alluvions anciennes indifférenciées) a été appliquée à la plupart d'entre eux. Dans les vallées des principaux affluents de la Loire, comme la Borne, des regroupements du type **Fy-z** ont été proposés. Cette notation doit se lire : alluvions **y** et **z** confondues et non pas alluvions d'âge relatif compris entre **y** et **z**. Les nappes alluviales dégradées notées **RF** sont indiquées indépendamment.

Le tableau ci-après résume la position et l'altimétrie des diverses nappes alluviales de la Loire.

Nappe	Emblavès	Aval de Brives	Amont de Brives
Fy	$\frac{+ 555}{+ 545 ?}$	$\frac{+603}{+ 593}$	$\frac{+ 614}{+ 608 ?}$
Fx	$\frac{+ 565}{+ 555}$	vers + 620 (le Monteil)	vers + 630 ?
Fw	$\frac{+ 592}{+ 588}$	vers + 630 (Chadrac) ?	$\frac{+ 650}{+ 645}$
Fv	$\frac{+ 607}{+ 602}$		
	traces à + 625, + 635...		
Villafranchien		+ 735	+ 775

Les cotes doubles indiquent l'altitude du sommet et de la base pour chaque nappe alluviale.

Ces alluvions sont constituées essentiellement de gros galets de quartz et granites, basaltes, de galets plus réduits de phonolites, accessoirement de brèches diverses et de chailles. Les bancs sableux reflètent la composition minéralogique de ces diverses roches. Une formation limoneuse, d'épaisseur réduite, s'étend sur la

nappe **Fy** autour du lieu-dit la Gare, commune de Saint-Vincent.

**Fz. Alluvions actuelles et subactuelles.** Le chenal actuel, emprunté par la Loire, et quelques chenaux antérieurs occupés lors des crues, entaillent la nappe **Fy** et en remanient les matériaux.

Dans les vallées secondaires, **Fz** et **Fy** ont été confondues (*cf. supra*).

## PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES

### ÉVOLUTION TECTONIQUE ET MÉTAMORPHIQUE

La série cristallophyllienne est sans aucun doute la partie la plus ancienne du socle. Par comparaison avec d'autres séries du Massif Central, on peut en effet penser que le matériel affecté par la tectonique et le métamorphisme est d'âge paléozoïque inférieur et/ou précambrien supérieur. À ce jour, seul l'orthogneiss de Fix a été daté par la méthode radiochronologique (Kornprobst et Bernard-Griffiths, communication orale) : l'âge de sa mise en place serait d'environ 520 M. A. (Cambrien). L'essentiel de la déformation et du métamorphisme se produit durant l'orogénèse hercynienne. Le problème d'un orogène antéhercynien n'a pas pu être abordé ici.

La première phase de déformation se traduit par une foliation régionale subhorizontale, plan-axial de plis isoclinaux très serrés. Cette foliation avait été très souvent confondue avec la stratification des séries. La direction de compression ainsi que le sens de déversement et les mégastructures n'ont pas pu être déterminés. Cet épisode de déformation dont l'âge est difficile à établir s'accompagne de la cristalloblastèse de disthène synschisteux.

La deuxième phase de déformation est une phase tangentielle à schistosité subhorizontale qui transpose la foliation 1. Les plis isoclinaux, dont les charnières sont parfois isolées, sont très serrés et peu nombreux. À l'origine les axes B sont horizontaux et orientés N100°E et N120°E (J.-P. Burg, 1976). Bien que les mégastructures associées soient difficilement identifiables, c'est vraisemblablement dès cette phase que se produisent les grands chevauchements du Massif Central (J.-P. Burg et Ph. Matte, 1978). Le socle dans le périmètre de la feuille le Puy, c'est-à-dire les formations pélitiques de la région de Jax, les orthogneiss migmatitiques de l'arc de Fix—Saint-Geney et le granite du Velay et de la Margeride, constitue un autochtone chevauché par le complexe leptyno-amphibolique et les anatexites à cordiérite (type Aubusson). Le contact majeur se situe immédiatement à l'Ouest de la feuille le Puy (feuille Langeac) et présente une direction nord—sud. Cette phase de déformation est contemporaine d'un métamorphisme régional prograde, intermédiaire de basse pression. L'ensemble des séries cristallophylliennes de la feuille le Puy se situe entre les isogrades sillimanite (+) et muscovite (-). Les principales espèces minérales qui apparaissent dans les formations pélitiques de Jax lors de cette deuxième phase sont la muscovite, la biotite, la staurotite, le grenat et la sillimanite.

La troisième phase tectonique est responsable de la formation des structures les plus évidentes tant à l'échelle de l'affleurement qu'à celle de la carte. Ce sont principalement des plis semblables à angle relativement ouvert, centimétriques à métriques et déversés vers l'Ouest. Les axes B ont une direction proche de N 60° E et sont parallèles à la linéation de crénulation. Localement un *strain slip cleavage* se développe suivant le plan axial des plis. Cette phase est contemporaine d'un métamorphisme rétro-morphique. On observe la cristallisation de chlorite et de muscovite aux dépens des minéraux primaires, ainsi que l'apparition de minéraux accessoires tels que calcite et épidote. La migmatisation et l'anatexie qui avaient sans doute commencé dès la phase 2 ou à l'interphase 2-3 se poursuivent pendant cette phase de déformation. À mesure que l'on s'approche du granite du Velay, l'andalou-site et la cordiérite surtout sont de plus en plus fréquentes. La cordiérite se présente en gros amas polycristallins de teinte vert pâle et est très abondante sur toute la

bordure, ce qui atteste le caractère tardif de la mise en place du granite d'anatexie.

Le dernier événement de la tectonique souple hercynienne est à l'origine de la formation de grands plis d'axe nord—sud affectant toutes les formations cristallo-phylliennes. Ces plis sont contemporains d'une schistosité de fracture, fruste, subverticale, de direction N 160° E à N 170° E. Localement, on observe une rotation des axes de plis. Cette phase tardive ne semble pas accompagnée de la cristallisation de minéraux de métamorphisme. Elle constitue donc la fin de l'orogénèse, et est sans doute contemporaine de la fin de la mise en place du granite d'anatexie.

### **Tectonique cassante**

Après la mise en place des granites et antérieurement aux dépôts du Trias se produit une phase cassante importante que l'on retrouve dans les principaux massifs hercyniens de France et d'Europe (F. Arthaud et Ph. Matte, 1975). Cette phase cassante se traduit essentiellement par de grands décrochements qui seront souvent réutilisés : dès le Permien la géométrie des bassins de subsidence montre que des failles normales se surimposent à ces anciens accidents. Ensuite, la tectonique alpine (responsable par exemple de l'effondrement du bassin de Limagne) est à l'origine du rejeu en faille normale de la plupart des accidents existants et détermine des bassins de sédimentation tertiaires (ex : l'Emblavès). L'amplitude des effondrements n'est pas encore bien connue. Un sondage effectué à Peyredeyre, à 5 km au Nord-Est du Puy, indique un affaissement du substratum de l'ordre de 1 500 m (F.-H. Forestier, communication écrite).

Le massif granitique du Velay est intensément affecté par la tectonique cassante. Les fractures, souvent subverticales, s'ordonnent autour de trois directions principales : N 100° E, N 130° E et N 160° E. Certaines d'entre elles montrent des stries horizontales. Le sens de mouvement n'a pas pu être déterminé pour ce jeu en décrochement par suite de l'état des plans de failles et de l'histoire complexe de ces accidents. Par comparaison avec les régions voisines, on peut penser que la direction de contrainte principale majeure, pour cet événement tardi-hercynien était proche de la direction NW—SE (F. Arthaud et Ph. Matte, *op. cit.*).

Le problème de la direction de compression et de l'âge des déformations cassantes plus récentes n'a pas pu être résolu dans le cadre de la feuille le Puy.

D'autre part, les formations volcaniques tertiaires et quaternaires ne semblent pas ou peu affectées par la tectonique cassante, mais des recherches complémentaires seraient nécessaires pour mettre en évidence les effets de la tectonique récente plio-quaternaire.

## *ÉVOLUTION MAGMATIQUE*

Les laves du Devès appartiennent en totalité à ce qu'il est convenu d'appeler en pétrologie la série alcaline ; il s'agit principalement de basaltes auxquels sont associés des roches intermédiaires autrefois appelées andésites mais qu'il est plus correct de désigner sous les termes de hawaïtes et mugéarites.

Les laves basaltiques sont pour la plupart des basanites à analcime et néphéline ; la néphéline forme parfois des mégacristaux dans les faciès scoriacés (Y. Blanc et *al.*, 1973) ; la leucite est également parfois présente (montagne de Doue, Nord-Est de la Garde de Mons) et son association avec la néphéline constitue l'une des particularités pétrologiques des laves du Devès (M. Normand, 1973).

Les laves basaltiques dépourvues de feldspath (néphélinites) sont très rares ; nous citerons comme exemple la coulée supérieure qui apparaît dans une carrière abandonnée au Sud de Taulhac (D 54).

Les hawaïtes et mugéarites, produits de différenciation du magma basaltique, sont plus abondantes que ne l'indique la carte géologique, mais, sauf exception (Pisse-Vieille du Sud d'Espaly), n'ont pas été individualisées en raison de l'impossibilité de les distinguer sur le terrain, des basaltes *sensu stricto*.

En raison de l'absence de laves acides, le Devès peut être considéré comme un district volcanique peu différencié. Les analyses chimiques nouvelles consignées dans le tableau 2 et les analyses publiées antérieurement (L. Jardin, 1973; M. Normand, 1973; J.-P. Carbonnel et C. Robin, 1972; R. Brousse, 1961) montrent que les teneurs en  $\text{SiO}_2$  ne dépassent jamais 52 %.

Les teneurs en  $\text{K}_2\text{O}$  sont parfois élevées (dans les laves à leucite) mais n'atteignent jamais celles en  $\text{Na}_2\text{O}$ ; les variations du rapport  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  sont indiquées sur la figure 2; elles montrent que les laves sont situées à la limite de la série moyennement alcaline et de la série fortement alcaline (Schwarzer et Rogers, 1974).

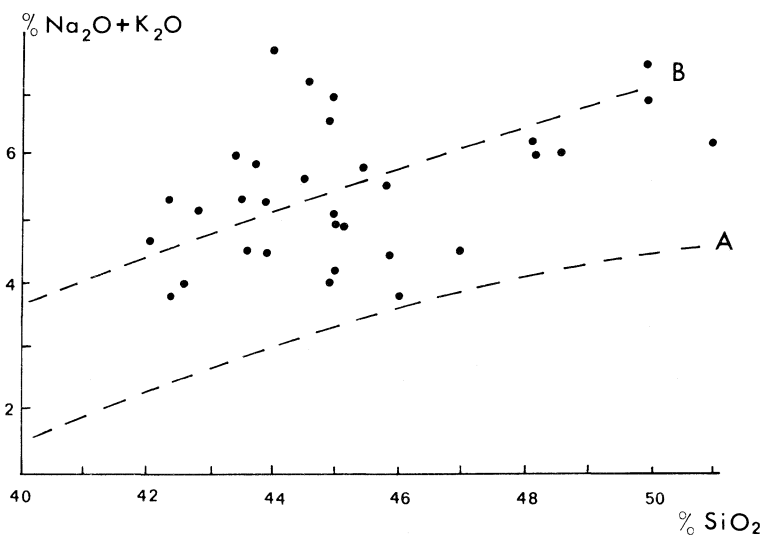


Fig. 2 - Diagramme  $\text{SiO}_2/\text{Alc.}$  (poids d'oxydes) des laves du Devès, d'après les données publiées et les analyses nouvelles :

A - Limite des laves alcalines

B - Limite séparant le domaine des laves fortement alcalines des laves moyennement alcalines

TABLEAU 2

N° analyse	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Réf. éch.	7471	7486	7472	7484	7475	7488	7483	7476	7419
SiO <sub>2</sub>	43,53	46,00	44,49	45,25	42,58	44,87	45,06	45,06	44,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,42	12,78	14,00	13,20	13,13	14,50	13,25	12,64	14,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,90	5,00	3,67	2,16	3,46	3,36	2,09	4,62	3,36
FeO	7,07	7,15	7,76	9,28	7,76	7,04	9,54	7,04	6,19
MnO	0,187	0,197	0,192	0,185	0,178	1,190	0,189	0,184	0,226
MgO	11,15	10,57	9,64	10,60	11,54	8,91	10,77	12,00	7,54
CaO	9,80	9,56	9,02	9,93	10,40	9,71	9,94	9,50	10,10
Na <sub>2</sub> O	3,68	2,70	3,65	3,58	2,99	4,42	3,63	3,84	4,95
K <sub>2</sub> O	1,65	1,08	2,10	1,32	1,10	2,18	1,37	1,37	2,34
TiO <sub>2</sub>	2,95	2,43	2,91	2,56	3,00	2,67	2,62	2,44	2,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,73	0,70	0,72	0,69	0,77	0,69	0,85	0,56	0,55
H <sub>2</sub> O (100 °C)	0,11	0,46	0,26	0,15	0,78	0,21	0,09	0,05	0,18
H <sub>2</sub> O (1000 °C)	0,88	1,07	1,93	1,02	2,39	1,00	0,87	1,00	2,57
Total	100,03	99,70	100,32	99,92	100,06	99,57	100,07	99,25	99,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T.	12,76	12,94	12,29	12,47	12,08	11,18	12,69	12,44	10,24
Ne virtuelle pour Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 1,50	13,80	1,39	11,63	9,53	9,40	16,92	10,18	5,83	21,37
D. I.	29,7	28,7	34,3	30,5	24,9	36,8	30,5	27,9	39,7
Localité	Mont Saint-Maurice	Vallée du Dolaison	SE de Mons	Vallée du Dolaison	Vallée de la Loire à la Farge	Coulée du château de Doue	Coulée sup. près de la Roche (Dolaison)	Coulée SE de la Garde d'Ours	Vallée du Dolaison

Les laves du Devès, en particulier celles du périmètre de la feuille le Puy, contiennent de nombreuses enclaves de péridotite dont les principaux gisements sont indiqués sur la carte ; dans ces enclaves l'olivine prédomine sur l'orthopyroxène et le clinopyroxène ; certains échantillons renferment également de la pargasite (marais de Limagne, mont Gros, la Chaume) associée ou non à du phlogopite (marais de Limagne, la Durande). Coisy (1977) a mis en évidence, dans ces péridotites, l'existence de deux types de structure, l'une, équi-granulaire, correspondant à une équilibration dans le manteau à 40-55 km environ et l'autre, protogranulaire, correspondant à une équilibration à plus grande profondeur (environ 55 à 65 km).

Il existe également dans les basaltes du Devès de nombreuses enclaves homogènes, monominérales (kaersutite, ferrisalite) ou polyminérales (amphibolites, pyroxénolites) qui sont les témoins d'une différenciation précoce, sous  $\text{PH}_2\text{O}$  élevée du magma basaltique (Darvich Zad, 1971 ; L. Jardin, 1973).

### MAGNÉTISME

Les caractères magnétiques peuvent être définis à partir de deux sources de documents :

- anomalies magnétiques déduites des profils à 3000 mètres d'altitude de la carte aéromagnétique de France (1964) ;
- études paléomagnétiques d'échantillons de roches (C. Bobier, H. Jonquet, M. Prévot, A. Roche).
- Les anomalies magnétiques sont liées aux formations volcaniques tertiaires et quaternaires. Le socle ne crée par d'anomalies magnétiques notables.

L'espacement des lignes de vol (10 kilomètres) est trop grand pour permettre une définition complète des actions magnétiques ; néanmoins quelques faits fondamentaux peuvent être dégagés :

- les anomalies peuvent parfois être mises en relation avec le relief volcanique visible ; parfois au contraire il n'y a pas de relation apparente. Dans tous les cas l'intensité et l'étendue des anomalies impliquent l'action prépondérante d'hypostructures volcaniques ;
- les anomalies ont un caractère différent pour le massif du Devès d'une part, pour les massifs du Mézenc et du Meygal d'autre part.

Dans le premier cas il y a prédominance des anomalies négatives. Ceci implique que l'aimantation thermorémanente l'emporte sur l'aimantation induite et que l'aimantation originelle a été acquise pour l'essentiel dans des périodes où le champ magnétique terrestre avait un sens opposé au sens actuel (en fait il s'agit surtout de la période de Matuyama). Un très bel exemple d'anomalie négative (80 gammas) est lié à la structure volcanique du lac du Bouchet.

Dans le second cas, les anomalies sont généralement positives. Ceci peut résulter d'éruptions intervenues en des périodes à polarité normale du champ terrestre, mais n'exclut pas certaines éruptions intervenues dans des intervalles à polarité inversée car l'aimantation thermorémanente peut être inférieure à l'aimantation induite à laquelle peut s'ajouter une composante visqueuse. Les deux plus belles anomalies apparentes dans les massifs du Mézenc—Meygal sont liées aux structures du mont d'Alhambra (60 gammas) et du rocher Tourte (70 gammas) ; l'une et l'autre sont positives.

- Les études paléomagnétiques effectuées en de nombreux sites du Velay s'accordent avec les résultats déduits de l'étude des anomalies.

Pour le massif du Devès les aimantations rémanentes des roches ( $\sigma$  de 1 à  $10 \cdot 10^{-3}$  uem CGS) sont du caractère inversé dans la majorité des cas et le rapport Q de l'aimantation rémanente à l'aimantation induite est élevé (valeurs allant fréquemment de 4 à 10). L'aimantation rémanente joue donc un rôle prépondérant dans la création des anomalies, d'où la fréquence des valeurs négatives.



## PALÉONTOLOGIE ET PRÉHISTOIRE

### LES GISEMENTS DE MAMMIFÈRES

Plus de vingt gisements de Mammifères quaternaires peuvent être reconnus sur le territoire de la feuille le Puy. Ils ont été pour la plupart minutieusement décrits par P. Bout, surtout dans ses travaux de 1960 et 1973. Plusieurs entrent dans le cadre d'une récente synthèse biostratigraphique du Villafranchien français (E. Heintz, C. Guérin, R. Martin, et T. Prat, 1974). Tous sont quaternaires au sens où nous l'entendons, c'est-à-dire dans la mesure où nous considérons que l'ensemble du Villafranchien correspond au Pléistocène inférieur. Il est possible de les regrouper en trois ensembles stratigraphiques.

#### Gisements villafranchiens

Ceux dont la datation est certaine n'occupent que les deux premières des quatre biozones villafranchiennes définies par E. Heintz en 1970.

● **Zone des Étouaires.** Le plus important est Vialette (commune de Saint-Paulien, 10 km environ au Nord du Puy) que des datations absolues situent à 3,8 M.A. (\*). La faune très riche contient de nombreuses espèces caractéristiques : *Zygodolophodon borsoni*, *Tapirus arvernensis*, *Dicerorhinus jeanvireti*, *Cervus cusanus*, *Croizetoceros ramosus ramosus*, *Cervus pardinensis*, *Cervus perrieri*, *Arvernoceros ardei*, *Leptobos elatus*, *Agriocherium cf. insigne*. Quatre autres gisements correspondent comme Vialette au premier remblaiement villafranchien de P. Bout et appartiennent à la même biozone mais ont livré une faune trop pauvre pour permettre une datation plus précise : il s'agit de Polignac (5 km environ au Nord-Ouest du Puy), Mons (3 km E.SE), le Monteil (3,5 km au Nord-Est) et Taulhac (immédiatement au Sud du Puy).

● **Zone de Saint-Vallier.** La Rochelambert (près de Saint-Paulien, 11,5 km environ au N.NW du Puy) et Saint-Vidal (7,5 km environ au Nord-Ouest du Puy) sont bien datés par leur faune : *Mammuthus meridionalis* pour le dernier, *Anancus avernensis* pour le premier, et dans les deux le Rhinocéros étrusque (*Dicerorhinus etruscus*) sous sa forme-type, *Equus stenorhinus*, *Gazella borbonica*, *Croizetoceros ramosus medius*. Deux autres gisements, moins riches, appartiennent à la même biozone : Vals—le Crozas (environ 4 km au Sud-Ouest du Puy) et Pranlary—le Riou (environ 4 km au Sud).

● **Villafranchien sans précision.** Des restes peu abondants ont été recueillis à Soyès (5 km au Nord du Puy) et plus récemment à Vazeilles-Limandre (R. Seguy, 1974).

#### Gisements du Pléistocène moyen

Ils peuvent pour la plupart être regroupés en deux « niveaux », un niveau très ancien et un niveau ancien.

● **Niveau pléistocène moyen très ancien.** Il comprend surtout les gisements de Sainzelles (ou Sinzelles, 5,5 km environ au Nord-Ouest du Puy) et de Ceyssegues (7,5 km au Nord du Puy). Les faunes recueillies sont riches et se composent à la fois d'éléments d'affinités villafranchiennes et d'éléments nouveaux ou évolués : *Hippopotamus*, *Cervus elaphoides*, *Mammuthus meridionalis* évolué et *Dicerorhinus etruscus* évolué. Les gisements moins riches du Saut près Bauzit (environ 4 km au S.SW du Puy), de Communac (6 km au N.NW) et de la Malouteyre (immédiatement au N.NW du Puy) semblent du même âge.

● **Niveau pléistocène moyen ancien.** Il s'agit de la formation de Solilhac (ou Soleilhac, environ 7 km au N.NW du Puy) pour laquelle P. Bout signale plusieurs sites

(\*) Une étude récente (Y. Bandet et al., *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1978, (7), t. XX, p. 245-251) indique que l'âge de la faune de Vialette est inférieur ou égal à 3,3 M.A.

fossilifères. La faune très riche comprend entre autres *Elephas cf. antiquus*, un cheval proche d'*Equus sussenbornensis* et le Rhinocéros de Merck (*Dicerorhinus mercki*) associé au Rhinocéros étrusque évolué.

● **Pléistocène moyen sans précision.** Les pentes de la Denise (environ 3 km au Nord-Ouest du Puy) constituent une formation rendue célèbre par la découverte de restes humains prétendus fossiles. Certains points fossilifères ont néanmoins livré une faune d'âge pléistocène moyen. P. Bout (1973, p. 198) rappelle la découverte ancienne d'un *Megaceros* du groupe *verticornis* à Rochelimagne (environ 6 km au N.NW du Puy).

### Gisements du Pléistocène supérieur

Il s'agit de deux gisements préhistoriques à faune riche, tous deux wurmiens. Nous ne tiendrons pas compte, dans ce cadre, de divers gisements préhistoriques post-wurmiens récemment découverts.

Le gisement des Rivaux, immédiatement à l'Ouest du Puy, montre une industrie moustérienne associée à une faune typiquement wurmienne : Mammouth (*Mammuthus primigenius*), Rhinocéros laineux (*Coelodonta antiquitatis*), *Ursus spelaeus*, *Crocota spelaea*, Chamois (*Rupicapra rupicapra*) et Marmotte. Le gisement du Rond-du-Barry (commune de Polignac) a livré pour sa partie paléolithique, une industrie magdalénienne associée au Mammouth, au Rhinocéros laineux, au Bison, au grand Bœuf (*Bos primigenius*), au Castor, etc.

En conclusion les gisements à Mammifères dans le cadre de la feuille à 1/50 000 le Puy présentent pour la biostratigraphie un double intérêt :

- contribution à la connaissance des faunes se situant dans le temps immédiatement après la limite Plio-Pléistocène ;
- mise en évidence du changement faunistique qui marque le passage du Villafranchien au Pléistocène moyen.

## PRÉHISTOIRE

Parmi les sites préhistoriques inventoriés sur la feuille le Puy, les plus importants se situent dans la vallée de la Borne. Les pièces découvertes appartiennent en partie aux collections du musée du Puy.

Aux Rivaux, près du Puy, sur la rive gauche de la Borne, des horizons humifères séparés par des colluvions ont livré un outillage moustérien associé à des restes de foyer et de nombreux ossements de Mammifères parmi lesquels prédomine le Cheval.

La grotte du Rond-du-Barry, qui s'ouvre à 600 m à l'Est du hameau de Sinzelles, a offert aux fouilleurs un outillage du Magdalénien supérieur et des traces d'occupation plus récentes (Néolithique, Bronze).

Plusieurs sites néolithiques ont été repérés :

- aux Rivaux, le sol recouvrant les couches moustériennes renferme des tessons de poterie chasséenne ;
- à Cormail, des silex, des haches polies et des tessons de céramique ont été recueillis aux abords de la voie ferrée et dans les propriétés voisines ;
- à Cheylounet (700 m au Sud-Est de Saint-Vidal), une station découverte lors de la construction de la voie ferrée a livré de nombreux ustensiles néolithiques.

« **Hommes de la Denise** ». Les ossements humains découverts en 1844 à l'Hermitage, sur le flanc sud du cône de la Denise, ont alimenté de nombreuses controverses. Au terme d'une étude bibliographique et critique, P. Bout (1947) conclut à l'authenticité d'une partie au moins des pièces et leur identité avec les couches bréchiennes qu'il regarde comme étant de nature périglaciaire. D'où il suit, stratigraphiquement, que ces ossements seraient villafranchiens (P. Bout, 1973), âge contesté par les spécialistes de la paléontologie humaine. L'éventualité d'un remaniement permettrait d'expliquer ces contradictions.

## RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS

### HYDROGÉOLOGIE

Les caractéristiques hydrogéologiques et les ressources en eau souterraine varient suivant les secteurs de la feuille avec la nature des formations géologiques ; on peut ainsi distinguer trois secteurs très inégaux, de nature différente.

#### **Secteur de nature cristalline ou métamorphique, peu perméable**

Ce secteur occupe principalement une bande NE—SW : le horst surélevé de Chaspinhac, une frange au Nord de la feuille, la bordure du plateau de la Chaise-Dieu—Craponne, et le coin sud-ouest de la feuille. Les terrains granitiques et métamorphiques sont recouverts de formations superficielles d'arènes, souvent argileuses, ne dépassant pas quelques décimètres d'épaisseur sur les versants, atteignant 6 mètres sur les plateaux vallonnés ; cette faible puissance en limite les possibilités aquifères : il en résulte des sources nombreuses, dispersées, à débit unitaire faible, essentiellement liées à la pluviométrie et à l'altitude. Au-dessous de 1 000 mètres, les débits sont faibles (5 à 15 litres/min.) ; au-dessus, quelques émergences dépassent 60 litres/min.

Les eaux de ces sources sont très peu minéralisées, mais fortement agressives.

#### **Secteur de nature volcanique, très perméable**

Le secteur basaltique couvre plus de la moitié du territoire de la feuille, en particulier la partie occidentale : c'est la terminaison nord du plateau du Devès, entre Loire et Allier. Les terrains basaltiques sont recouverts de formations superficielles très souvent argileuses donnant parfois naissance à des sources de faible débit (10 à 49 litres/min.) dites sources basaltiques superficielles.

L'origine de l'abondance des ressources aquifères des coulées basaltiques est à rechercher dans leur perméabilité de fissures. Les tufs de projection, parfois intercalés entre les coulées successives, ont subi une altération argileuse responsable de leur couleur rouge et de leur manque de perméabilité. Les eaux météoriques s'infiltrent et circulent dans les fractures, diaclases et fissures des basaltes jusqu'au substratum.

Si la partie supérieure au substratum est perméable (formations villafranchiennes sableuses par exemple), ces eaux s'y accumulent et trouvent un exutoire, donnant naissance aux sources infrabasaltiques, telles la source Fonlade près de Vourzac ou la source de Freycenet à l'Est de Loudes.

Si le substratum cristallin ou sédimentaire est le premier niveau imperméable rencontré par ces eaux cheminant *per descensum*, elles se rassemblent et sont à l'origine des sources sousbasaltiques, comme celles situées à la périphérie du plateau du Devès, en bordure du bassin du Puy et de la vallée de l'Allier.

Là où la formation basaltique est faite de multiples assises superposées avec ou sans tufs intermédiaires, dans la masse même des coulées, existent des niveaux colmatés jouant le rôle d'écran, perturbant la circulation de ces eaux ; des fractures en plein plateau, d'anciens maars recoupant ces coulées, des ravins en entaillant les bordures libèrent des sources dites intrabasaltiques.

Dans la zone interne du plateau, les eaux intrabasaltiques, dont le cheminement souterrain s'amorce à plus de 1 100 m dans la chaîne du Devès, constituent des nappes captives qui profitent des fractures pour jaillir ; telles sont les sources de Barret à Sanssac-l'Église et de Beyssac près du marais de Limagne. Dans le maar de Chantuzier, les venues ascendantes d'eau fournissent un débit de 10 litres/sec.

Les émergences de Dolaison, Redouvat (vallée de Ceyssac) et de Vourzac sont des exemples de sources à l'origine de vallons recoupant des coulées.

Les émergences basaltiques d'un débit de l'ordre de 20 à 30 l/s sont courantes et il existe même certains points d'eau qui dépassent 100 l/s.

Le débit de ces sources varie peu : l'importance du bassin versant, leur amplitude, la profondeur des gîtes des nappes atténue les influences climatiques saisonnières.

La température de ces sources est supérieure de 2 à 3° à la température annuelle moyenne des lieux où elles surgissent et constante tout au long de l'année.

Ces eaux ont une minéralisation faible mais appréciable et une très légère agressivité.

#### **Secteur de nature sédimentaire**

Dans les bassins sédimentaires de la Loire, l'encaissant des vallées, leur encombrement par des reliefs secondaires, la pente, le fait que le cours d'eau soit près de sa source et présente un caractère semi-torrentiel, ont limité l'extension des plages alluviales en épaisseur et en largeur. Les étiages sont très prononcés, ce qui restreint l'éventuel apport du cours d'eau lui-même ; la pluviométrie insuffisante dans la vallée et la faible étendue des plages alluviales limitent l'alimentation de la nappe.

La réalisation de captages dans la plaine d'Audinet pour alimenter Brives-Charensac a permis d'obtenir 6 l/s avant le colmatage. À Saint-Vincent, les puits ont traversé 4 mètres d'alluvions dont deux aquifères et fourni 3 l/s, de même que des sondages implantés dans la vallée de la Sumène.

Les bassins du Puy et l'Emblavès sont démunis de ressources aquifères. La ville du Puy est alimentée en eau potable par des émergences intrabasaltiques captées en tête des vallons de Vourzac et près de Brignon (sources de Roulon et de Besson, cette dernière ayant un débit de 150 l/s).

#### **Eaux minérales**

La source de Serville, commune de Beaulieu, (eau de table bicarbonatée sodique) émerge des alluvions de la Loire et débite 2,66 l/min. Aux Estreys, commune de Polignac, l'eau bicarbonatée sodi-calcique est radioactive : 36,5 millimicrocuries.

### *RESSOURCES MINÉRALES*

**Sables et graviers alluvionnaires.** Plusieurs exploitations se répartissent sur les bords de la Loire, dans le chenal **Fz**, à Volhac, Latour, Durianne et Larcenac.

La seule carrière ouverte dans les nappes alluviales plus anciennes est la ballastière abandonnée de Larcenac (nappe **Fx**).

Les matériaux de déjection des cônes de l'Emblavès (**J**) sont exploités pour les besoins locaux (entretien de la voirie rurale) à Pimparoux et Chalignac.

**Sables.** Les formations sableuses fluvio-lacustres du Villafranchien (**FL**) sont parfois exploitées par les propriétaires des fonds (la Chazotte) ; la seule carrière importante est celle de Tressac.

**Argiles.** Les argiles rouges éocènes (**eSi**) sont extraites et utilisées par la tuilerie de Malescot (N 88, commune de Fay-la-Triouleyre).

**Grès feldspathiques (arkoses).** Les arkoses de l'Éocène ont été utilisées pour les constructions de Brives-Charensac et quelques hameaux voisins. Plusieurs carrières abandonnées entament le petit lambeau situé au Nord de Chaspinhac.

**Basalte.** Très largement employé dans les constructions traditionnelles du plateau vellave, le basalte sert uniquement de matériau de concassage.

**Brèche basanitique.** La brèche basanitique a été intensément utilisée pour la construction, au Puy et dans les villages voisins ; cette roche se taille aisément mais est sensible au gel.

**Marnes et calcaires — Gypse.** Les bancs calcaires et les marnes de l'Éocène ont été exploités jadis par galerie sous le mont Ronzon (quartier des Capucins). Au Puy même, sous le mont Anis, ainsi qu'à Cormail, d'autres galeries et des puits ont servi à extraire du gypse et des marnes gypseuses (début XIX<sup>e</sup> siècle).

**Lignite.** Des formations ligniteuses sont signalées parmi les sédiments **FL** du Villafranchien (la Rochelambert, côte de l'Oulette). Un mince lit de cette nature s'observe aussi dans l'Éocène de la coupe des Farges. Ces indices n'ont donné lieu à aucune exploitation ou recherche.

### Minéralisations

La pauvreté apparente des indices de minéralisation est due au fait que plus de 75 % de la superficie de la feuille 1/50 000 sont constitués par d'importants recouvrements volcaniques et que la moitié de la partie restante est, elle, recouverte par des formations sédimentaires également récentes. C'est dire que les fenêtres où affleure le vieux socle cristallin sous-jacent sont rares. Malgré cela, les indices essentiellement filoniens y sont assez fréquents, ce qui permet de supposer l'existence, sous les puissantes formations de couverture, d'autres formations filoniennes (vraisemblablement en liaison avec le granite du Velay). Les minéralisations sont réparties sur l'ensemble du territoire de la feuille. Il s'agit essentiellement de filons de barytine parfois associée à la fluorite. Certains sont faiblement minéralisés en galène, celle-ci pouvant être argentifère. Également dans le socle on signale quelques rares indices uranifères. Enfin, un filon de quartz à mispickel a fait l'objet en 1941 d'une petite recherche par galerie (20 m) près de Chastenuel (commune de Jax).

Les minéralisations sont généralement considérées comme tardi-hercyniennes, postérieures à la mise en place du granite du Velay.

**Galène.** L'ancienne concession de plomb argentifère d'Aurouze était située en partie dans l'angle nord-ouest de la feuille le Puy. Le filon de Jax (1-4001), orienté N 160° E, est minéralisé en galène, fluorite et barytine. À Saint-Paulien (3-4002), filon N 125° à 145° E, reconnu par galerie en traçage. La caisse atteint 2 m de puissance et est minéralisée sur 0,1 à 0,2 mètre. Gangue de barytine, galène en gros cristaux. Aux Malleys (4-4002), un filon N 155° E a été reconnu par tranchées et petite galerie. La gangue, barytine et fluorite, est minéralisée en galène (rare). À Lavoûte-sur-Loire (4-4003), les filons sensiblement parallèles sont orientés N 155° à 160° E. D'après les volantes, la structure pourrait atteindre 500 à 800 mètres. La galène argentifère est rare. Présence de pyromorphite. Gangue de barytine et fluorite souvent finement associées. Le gîte a été reconnu par galerie, actuellement effondrée.

Enfin à Brouillac (4-4005), deux filons ont été reconnus par tranchées. Ils se dirigent à N 100° E et N 155° E. Pendage 25° N et subvertical. La puissance ne dépasse pas 0,4 mètre. Présence de galène avec gangue de barytine.

À côté de tous ces gîtes ayant fait l'objet de petits travaux de recherche ou d'exploitation, on peut citer l'indice de Fay-la-Triouleyre (8-4001) où des volantes laissent présumer un filon orienté N 135° E. Ces volantes de barytine avec quartz géodique renferment des traces de galène.

**Barytine.** En plus des gîtes et indices de galène à gangue barytique mentionnés ci-dessus, la barytine a été reconnue par tranchées à Sainte-Eugénie (1-4002), par puits et travers-bancs à Brignols (4-4001) où la fluorite l'accompagne dans un filon dirigé N 125° E, par travers-bancs et montage aux Granges (5-4002) : filon N 155° E à pendage nord-est de quartz, barytine et fluorite. Enfin à Pont-Gibert (5-4003), une galerie en traçage a suivi un filon N 100° E à pendage 70° S, puissant d'un mètre et minéralisé sur 0,4 à 0,5 mètre. Comme pour la galène, ces recherches sont abandonnées depuis longtemps.

Des indices ont été relevés à Vernassal (2-4001) : filon N 145° E subvertical, à Chambarel (3-4001) et au Mas de Lanoute (4-4001) : filon N 115 à 125° E subvertical, minéralisation puissante de 0,1 à 0,15 m dans une caisse de plus de 5 mètres.

**Fluorite.** L'indice de Vergues (5-4001), constitué par un filon quartzeux, subvertical, minéralisé sur une puissance de 0,1 m, orienté N 135° E, s'ajoute aux gîtes de barytine ou de galène où la fluorite a été signalée (*cf.* les paragraphes précédents).

## DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE

### SITES CLASSIQUES ET ITINÉRAIRES

On trouvera des renseignements complémentaires et en particulier 5 itinéraires géologiques à partir du Puy dans le *Guide géologique régional : Massif Central*, par J. M. Peterlongo, 1978, 2<sup>e</sup> édition, Masson et cie, éditeurs.

### BIBLIOGRAPHIE

— Réunions extraordinaires de la Société géologique de France au Puy en 1869 et 1893. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), t. 16, p. 1041-1179; (3), t. 21.

ARTHAUD F., MATTE Ph. (1975) — Les décrochements tardi-hercyniens du Sud-Ouest de l'Europe. Géométrie et essai de reconstitution des conditions de la déformation. *Tectonophysics*, 25, p. 139-171.

AZZAROLI (1967) — Villafanchian correlations based on large mammals. *Com. Neog. Strat. Proc. IV, Session 67.*

BELLON H. (1971) — Datation absolue de laves d'Auvergne par la méthode K/Ar. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Orsay, 58 p.

BERTRAND de DOUE (1823) — Description géognostique des environs du Puy-en-Velay et particulièrement du bassin au milieu duquel cette ville est située. *In-8°* de 240 p. avec une carte coloriée et deux planches.

BLANC Y., MERGOIL-DANIEL J. et TEMPIER P. (1973) — Découverte de néphéline en mégacristaux et d'enclaves à néphéline et anorthose dans les projections volcaniques du Devès (Hte Loire). *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristal.*, 96, 6, p. 388 et sq.

BOBIER C. (1969) — Étude paléomagnétique des basaltes du plateau du Velay. *C. R. Acad. Sci.*, 268, p. 20-23.

BONIFAY E., BONIFAY M. F., PANATTONI R. et TIERCELIN J.-J. (1977) — Soleihac (Blangère, Hte Loire). Nouveau site préhistorique du début du Pleistocène moyen. *Bull. Soc. géol. France*, 73, p. 293-304.

BOULE M. (1892) — Description géologique du Velay. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, 28, t. IV.

BOUT P. (1947) — Sur les hommes fossiles de Densac. *Bull. Soc. Acad. Puy*, t. 27, p. 1-64.

BOUT P. (1953) — L'érosion des reliefs phonolitiques et basaltiques de la haute Loire depuis le dernier glaciaire. Mélanges géographiques offerts à Ph. Arbes. *Publ. Inst. Géogr. Fac. Lettres Clermont-Ferrand*, p. 91-102.

BOUT P. (1960) — Le Villafanchien du Velay et du bassin hydrographique moyen et supérieur de l'Allier. Thèse.

BOUT P. (1963) — Le Quaternaire du bassin supérieur de la Loire, des bassins moyen et supérieur de l'Allier et de leurs marges. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 5, p. 472 et sq.

- BOUT P. (1973) — Les volcans du Velay. Watel édit., Brioude, 287 p.
- BOUT P. (1974) — Le maar de Saint-Geney (Hte Loire). *Rev. Sci. nat. Auvergne*, 88, 4, p. 309-332.
- BROUSSE R. (1961) — Analyses chimiques des roches volcaniques tertiaires et quaternaires de la France. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, 263, LVII, p. 140.
- BURG J.-P. (1977) — Tectonique et microtectonique des séries cristallophylliennes du haut Allier et de la vallée de la Truyère. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Géol. appliquée, Fac. Sci. Montpellier, 79 p.
- BURG J.-P. et MATTE Ph. (1978) — A cross section through the French Massif Central and the scope of its Variscan geodynamic evolution. *Dtsch. Geol. Geselsch. Abh.* (sous presse).
- CANTAGREL J.-M. et PRÉVOT M. (1971) — Paléomagnétisme et âge K/Ar des basaltes du Devès aux environs de Saint-Arcons-d'Allier (Massif Central français). *C. R. Acad. Sci.*, 273, p. 261-264.
- CARBONNEL J.-P. et ROBIN C. (1972) — Les zircons-gemmes dans les roches ignées basiques. Le gisement d'Espaly (Hte Loire, France). *Revue Géogr. phys. et Géol. dyn.*, XIV, 2, p. 159-170.
- CARBONNEL J.-P., DUPLAIX S. et SELO M. (1973) — Géochronologie par traces de fission des zircons et par K/Ar des andésites basaltiques d'Espaly (Hte Loire). *Contr. Minéral. Pétrol.*, 403, p. 215-224.
- DIDIER (1973) — Granites and their enclaves. Elsevier, 393 p.
- EHRlich (1967) — Étude de quelques gisements datomifères villafranchiens du bassin du Puy. *Bull. Assoc. fr. Et. du Quat.*, 13, p. 193 et sq.
- FORESTIER F.-H. (1963) — Métamorphisme hercynien et antéhercynien dans le bassin du haut Allier (Massif Central français). *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, 271, LIX, p. 521 et sq.
- FRANZEN J.-L. (1972) — *Pseudopalaeotherium longirostratum* n. g., n. sp. (*Perissodactyla, Mammalia*) aus dem unterstampischen Kalkmargel von Ronzon (Frankreich). *Senckenbergiana lithaea*, 55 (5), p. 315-331, 8 Abb., Frankfurt am Main.
- FRANZEN J.-L., LARQUÉ Ph., WEBER F. (1976) — Une mandibule de *Pseudopalaeotherium longirostratum*, Franzen 1972 (*Mammalia, Perissodactyla, Palaeotheriidae*) trouvée dans la vallée de la Laussone près de la Terrasse (Hte Loire, France).
- GABIS V. (1963) — Étude minéralogique et géochimique de la série sédimentaire oligocène du Velay. *Bull. Soc. fr. Minér. Cristal.*, 86, p. 315.
- HEINTZ E. (1970) — Les Cervidés villafranchiens de France et d'Espagne. Thèse, *Mém. du Muséum d'Histoire naturelle*, (C), t. 12.
- HEINTZ E., GUÉRIN C., MARTIN R. et PRAT T. (1974) — Principaux gisements villafranchiens de France : listes fauniques et biostratigraphie. *Mém. BRGM*, Paris, 78, t. 1, 5<sup>e</sup> Congr. Néogène méditerranéen (Lyon, sept. 1971).
- JARDIN L. (1973) — Les enclaves basiques et ultrabasiques dans les basaltes alcalins de la chaîne du Devès (Hte Loire). Thèse 3<sup>e</sup> cycle, n° 254, Lyon I, 119 p.
- JONQUET H. (1974) — Contribution à l'étude paléomagnétique des roches du Velay. Diplôme d'ingénieur géophysicien, Strasbourg, 96 p.
- JONQUET A., GIROD M., WESTPHAL M. (1975) — Le mode de mise en place des brèches basanitiques de la région du Puy-en-Velay; éléments de réponse par le paléomagnétisme. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 280, p. 2309-2312.
- LACAN A. (1954) — Caractères pétrographiques des brèches du Puy-en-Velay. *Rev. Sci. nat. Auvergne*, XIX, 3-4, p. 49.
- LAVOCAT R. (1951) — Révision de la faune des Mammifères oligocènes d'Auvergne et du Velay. Thèse.

- LEYRELOUP A. (1974) — Les enclaves catazonales remontées par les éruptions néogènes de France : nature de la croûte inférieure. *Contr. Minéral. Pétrol.*, 46, p. 17-27.
- NORMAND M. (1973) — Le volcanisme de la bordure sud-orientale du Devès et du plateau d'Alleyrac. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Paris VI, 226 p.
- De SAPORTA (1870) — Remarques sur la flore des arkoses de Brives. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2<sup>e</sup> série, t. XXVI, p. 1078.
- SCHWARZER R. et ROGERS J. (1974) — A worldwide comparison of alkali-olivine-basalts and their differentiation trends. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 23, p. 286-296.
- SÉGUY R. (1974) — Nouvel horizon fossilifère dans le Villafranchien de la haute Loire. *C. R. ann. Assoc. Paléont. Préhist. Mus. Lyon*, p. 79-80.
- STEHLIN H.-G. (1909) — Remarques sur les Mammifères éocènes et oligocènes du Bassin de Paris. *Bull. Soc. géol. Fr.*, vol. 4, p. 488.
- WEBER F., LARQUÉ P. (1973) — Travaux effectués dans les terrains oligocènes de la région du Puy-en-Velay. Rapport interne, Strasbourg.

#### **Cartes géologiques à 1/80 000**

Feuille *le Puy* :

- 1<sup>e</sup> et 2<sup>e</sup> éditions (1893, 1941), par M. Boule et P. Termier,
- 3<sup>e</sup> édition (1967), par P. Bout et F.-H. Forestier.

#### **Carte des gîtes minéraux de la France à 1/320 000**

Feuille *Avignon* (1964), coordination par F. Permingeat.

### *DOCUMENTS ET COLLECTIONS CONSULTABLES*

La Banque des données du sous-sol du B.R.G.M. détient l'inventaire des sondages et autres travaux souterrains exécutés dans le périmètre de la feuille et archive régulièrement les nouveaux travaux. Les documents peuvent être consultés soit au S.G.R. Auvergne, 22, avenue de Lempdes, 63800 Cournon-d'Auvergne, soit au B.R.G.M., 6-8, rue Chasseloup-Laubat, 75015 Paris.

### AUTEURS DE LA NOTICE

Cette notice explicative a été rédigée par Michel GIROD et Robert BOUILLER avec la collaboration de :

- Alexandre ROCHE : magnétisme ;
- Francis WEBER, Philippe LARQUÉ et Denis GIOT : séries sédimentaires ;
- Claude GUÉRIN : gisements de Mammifères ;
- Y. BLADIER et Ph. LAURENT : formations métamorphiques ;
- André BAMBIER : minéralisations.