

Découverte d'un volcanisme paléocène en Auvergne : les maars de Menat et leurs annexes ; étude géologique et géophysique

par PIERRE M. VINCENT *, MAURICE AUBERT **, PIERRE BOIVIN *, JEAN-MARIE CANTAGREL *
et JEAN-FRANÇOIS LENAT **

Mots clés. — Diatomite, Spongolite, Schiste bitumineux, Brèche volcanique, Sédiment lacustre, Cratère (Maar), Explosion, Basalte, Composition alcaline, Paléocène, Datation K-Ar, Inversion du champ. Puy-de-Dôme.

Résumé. — De nouvelles études géologiques et géomagnétiques du bassin sédimentaire fossilifère de Menat (Puy-de-Dôme) prouvent son origine volcanique : présence de brèches d'explosion à éléments basaltiques et anomalie magnétique traduisent l'existence en profondeur de basalte en place. Il s'agit du remplissage d'un maar par des sédiments lacustres. Une structure analogue existe à proximité, près de Malmouche. Le basalte alcalin associé à ces appareils et constituant d'autres pointements volcaniques dans le voisinage est daté par la méthode K-Ar d'environ 56 Ma ; son aimantation thermorémanente est de polarité inverse. Ce volcanisme paléocène supérieur, le plus ancien actuellement reconnu en Auvergne, précède la formation des rifts tertiaires du Massif central.

Abstract. — New geological and geomagnetic studies on the small fossiliferous Menat basin (Puy-de-Dôme) give clear indication of its volcanic nature : existence of explosion breccias with basaltic lapilli and a magnetic anomaly owing to an non out-cropping underlying basalt. It is the filling of a maar by lacustrine sediments. A similar structure is also recognized near Malmouche. The alkaline basaltic magma from these diatremes and from small deeply eroded basaltic dykes in the immediate surrounding is dated by K-Ar method at about 56 m.y. ; its thermoremanent aimantation has a reversed polarity. This upper paleocene volcanism, the oldest presently known in the Auvergne area, has preceded the formation of the Limagne tertiary rifts from Massif central.

I. — INTRODUCTION.

Le bassin tertiaire de Menat : situation du problème. Dans sa « Géologie de l'Auvergne », Jung [1946] écrit : « *Le bassin tertiaire de Menat, isolé sur les plateaux cristallins de la Sionle septentrionale, constitue l'un des points les plus curieux de la géologie de l'Auvergne, tant par son extraordinaire richesse en fossiles que par le caractère singulier de ses dépôts* ». Curieux, ce bassin l'est aussi par sa taille minuscule (1 000 m de long sur 600 m de large) et par son encaissement de tous côtés dans des formations métamorphiques particulièrement résistantes. Sa surface est située 170 m en contrebas d'une vieille pénélaine ; l'épaisseur des couches sédimentaires est inconnue, mais un forage de 70 m à la hauteur du village n'en a pas atteint la base : le lac s'est donc installé dans un « trou » d'au moins 250 m de profondeur, dont l'existence nécessite une explication.

Les très nombreux travaux qu'a suscités ce bassin énigmatique sont essentiellement paléontologiques. Les données géologiques sont reprises des auteurs du siècle précédent : Aymard, de Launay et surtout Lecoq [pour une bibliographie complète voir Piton, 1940]. La situation actuelle du problème est résumée par Grolier [1971] : « *Les causes de l'existence d'un lac à cet endroit nous échappent encore : minuscule zone d'effondrement comme semblent en témoigner quelques failles aujourd'hui visibles dans le voisinage? Cours d'eau barré pour une cause inconnue?* ».

* L.A. 10 C.N.R.S., « Chronologie des terrains cristallins et volcanologie », 5, rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand Cedex.

** I.O.P.G. du Puy de Dôme, 12, av. des Landais, 63001 Clermont-Ferrand.

Note déposée le 18 avril 1977, présentée à la séance du 16 mai 1977, manuscrit définitif reçu le 6 juin 1977.

En 1972, le lever magnétique « Massif Central » I.N.A.G.-B.R.G.M., montre la présence, à la hauteur de Menat, d'une anomalie magnétique négative de quelques gammas (fig. 2). Ce fait n'avait pas retenu l'attention jusqu'à maintenant.

L'étude de Menat a été reprise par l'un de nous pour tester l'hypothèse d'une origine par impact de météorite. Il s'est avéré, au contraire, que cette dépression a une origine volcanique, de même que la petite structure voisine contenant les « conglomérats » de Malmouche [Lecoq, 1829]. Les études pétrographiques, géochronologiques et géophysiques entreprises parallèlement ont non seulement confirmé cette interprétation, mais montré aussi que ces structures ne sont que les aspects les plus spectaculaires d'un volcanisme de même âge qui se manifeste plus largement dans cette région.

II. — DESCRIPTION GÉOLOGIQUE.

1) Géologie du Bassin de Menat.

Les couches sédimentaires du bassin de Menat ont une disposition en fond de bateau, avec des pendages de l'ordre de 30° en bordure, s'atténuant jusqu'à devenir horizontaux au centre; quelques petites failles étaient visibles autrefois dans une carrière maintenant inondée, et des pendages atteignant 45° avaient été localement signalés. Pétrographiquement les « schistes » sont des argiles feuilletées bitumineuses, présentant plusieurs faciès [cf. Notice de la carte géologique de Gannat au 1/50 000]. Il y a été reconnu des spicules d'Éponges abondants et des Diatomées [spongolithes et spongo-diatomites de Cayeux, 1929]; Dangeard [1934] a montré la prépondérance d'une Diatomée spéciale, à cloison faiblement siliceuse et riche en « huile », qui a produit un véritable sapropèle siliceux. Ces schistes bitumineux ont été exploités de 1825 jusqu'en 1950 pour la production de tripoli par calcination, et du « noir d'Auvergne » par carbonisation en vase clos. Nous n'avons pas recueilli de données nouvelles sur ces formations.

Le « conglomérat de base » : on disait depuis Lecoq que les schistes reposent sur un conglomérat de base qui affleure localement à la périphérie du bassin. Il est décrit comme formé de fragments de gneiss et micaschistes quelquefois très volumineux, liés par un ciment peu consolidé imprégné d'oxyde de fer; ailleurs le ciment est comparé à une sorte de kaolin impur d'un blanc jaunâtre. Dans la berge du Ruisseau de la Mer, à l'entrée amont du bassin, ce conglomérat serait séparé en deux niveaux par une mince couche de lignite — plus noir, plus riche en carbone et moins fissile que les lignites superposés au conglomérat. C'est pourquoi cette observation amenait à conclure que des schistes s'intercalaient

déjà dans les conglomérats « du côté du couchant, par où arrivaient à la fois les cailloux roulés que le torrent entraînait dans sa course, ainsi que les matières végétales qui formèrent le lignite »¹ [Lecoq, 1829].

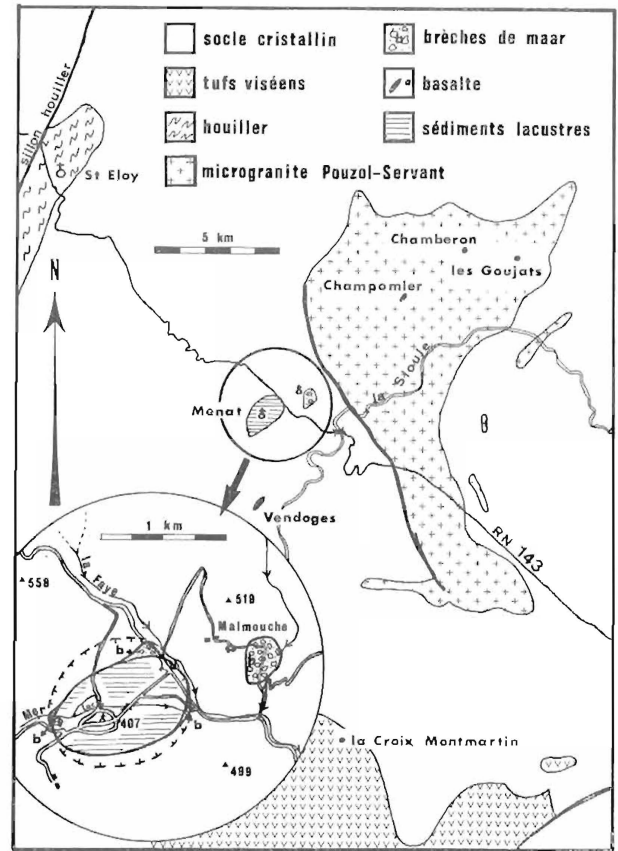


FIG. 1. — Esquisse géologique de Menat et de ses environs.

Nous avons retrouvé des « conglomérats de base » en trois points de la bordure du bassin (fig. 1) avec des caractères assez proches. Ce sont toujours des brèches polygéniques à blocs anguleux de migmatites et gneiss de taille très variable — quelques centimètres à quelques décimètres le plus souvent; des blocs plus gros, jusqu'à plusieurs mètres, ont été trouvés, mais ils sont rares. Il n'y a aucun classement. La matière est formée d'une part de fragments plus petits et de minéraux isolés des mêmes roches, d'autre part d'une matière argileuse beige dont l'abondance varie notablement — de moins de 10 % à plus de 50 % du volume. La matière argileuse est formée en partie de granules homogènes, souvent arrondis, ayant de 1 mm à quelques centimètres de diamètre. Par analogie avec les brèches de Malmouche où ces mêmes granules peuvent ne pas être argilisés ou l'être incomplètement, on peut affirmer qu'il s'agissait de *lapillis vitreux basaltiques*.

L'argile, en cours d'étude, semble toujours de la kaolinite. Les minéraux du socle peuvent être transformés également ; les biotites, en particulier, sont souvent gonflées, ou ouvertes « en accordéon », avec transformation partielle ou totale en kaolin (leverrièreite probable). Ces brèches ont les caractères de *brèches volcaniques*, liées à une activité explosive.

Relations des brèches avec les schistes et l'encaissant.

— **A l'Ouest du Bassin** : l'affleurement décrit par Lecoq est en partie masqué. Néanmoins, en amont du petit pont, sous le cimetière on peut, en grattant, retrouver les brèches sous les schistes. De bas en haut, il est possible de reconstituer la coupe suivante :

a) Encaissant métamorphique devenant altéré et écrasé, près du contact (non visible).

b) Deux mètres de brèche hétérogène et riche en matière argileuse.

c) Un niveau mince et irrégulier de lignite contenant un tronç de 10 cm de diamètre.

d) Un mètre de brèche hétérogène avec des fragments de lignite.

e) En discordance angulaire sur cette brèche, avec un pendage de 30° vers l'Est les schistes fossilifères de Menat.

Contrairement à l'interprétation de Lecoq, les brèches et le remplissage de schistes sont d'origines différentes. Les brèches ne représentent pas la base détritique du comblement lacustre, mais sont d'origine volcanique. Un niveau riche en fragments de végétaux n'étant pas rare dans un tel contexte.

— **A l'Est du Bassin** : 100 m avant le confluent du ruisseau de la Mer avec la Faye, les brèches affleurent en rive gauche sur 20 m avant de plonger sous les schistes. La partie supérieure est indurée, très cohérente et kaolinisée au point que l'individualité des blocs peut s'estomper. Une stratification fruste est suggérée par la présence d'une barre en relief, avec un pendage ouest de 35° environ. Elle doit sa résistance à une concentration inhabituelle de blocs du socle ; la matrice y est très peu abondante, mais néanmoins on y reconnaît les mêmes granules argilisés. Le contact avec les migmatites se voit au début du sentier suivant le ruisseau, il est brutal et sub-vertical. La falaise qui domine la rive droite du ruisseau, avant le confluent, correspond à l'exhumation de l'ancienne paroi du cratère, qui a peu reculé ici.

— **Au Nord de Château-Gaillard** : sur la route de Montluçon, les brèches ont leur développement maximum. On les suit en continuité sur une centaine de mètres, interrompues par une barre de migmatites parallèle au contact qui semble n'être qu'un grand panneau inclus dans les brèches. Les gros blocs sont

ici plus fréquents, dont un de 4 m de long emballé dans la brèche de façon certaine. Le matériau est là aussi sans classement, mais sur les 10 m de hauteur de la coupe, la proportion de matrice augmente, jusqu'à atteindre plus de 50 % du volume. Une stratification fruste semble apparaître dans la partie supérieure de la coupe. Le contact avec l'encaissant est brutal. Les migmatites sont écrasées, mais non altérées. Il est intéressant de noter que des petites passées d'un matériel tufacé à grain fin y apparaissent près du contact : il s'agit vraisemblablement de tuf intrusif (tuffisite). Le contact avec les schistes est peu visible, mais ceux-ci sont nettement en contrebas des brèches.

Interprétation.

De ces différentes données et d'une comparaison avec Malmouche, on peut conclure que le Bassin de Menat est installé dans une *structure volcanique de type maar*, les brèches résultant d'éruptions explosives, dont la rythmicité apparaît mal ici. Leur disposition centroclinale actuelle traduit leur effondrement dans un entonnoir dont le diamètre diminue vers le bas. L'effondrement le long de la faille bordière s'est poursuivi sous le poids des sédiments — et, joint à la compaction, il explique que ceux-ci affectent la même disposition en « fond de bateau ». Celle-ci était signalée par tous les auteurs anciens, qui cherchaient souvent à l'expliquer par des mouvements tectoniques ultérieurs. L'altération kaolinique, maximum au contact des schistes, s'explique par l'acidité des eaux de percolation du lac : c'est la transformation normale de matériaux volcaniques, surtout vitreux, en contact avec des eaux riches en acides humiques, comme c'est le cas par exemple des tonsteins [in Millot, 1964]. A ce propos, il faut signaler l'observation par Lecoq d'un niveau de 6 cm interstratifié dans les schistes « d'une espèce de kaolin impur en tout point semblable au ciment du conglomérat », sans matière organique. Ce niveau n'affleure plus, mais on peut émettre l'hypothèse qu'il s'agit d'une cinérite, qui témoignerait de l'existence d'une manifestation volcanique légèrement postérieure.

Le tuf intrusif probable du contact nord est comparable aux tuffisites signalées dans l'encaissant des diamètres du Jura Souabe [Cloos, 1941].

Il peut paraître surprenant qu'un diatrème aussi ancien en soit encore, morphologiquement, au stade « maar », avec conservation d'une partie de ses dépôts lacustres. A cela nous voyons deux raisons. D'abord, l'encaissant est formé ici de migmatites exceptionnellement résistantes, comme en témoigne l'étroitesse de la gorge raccordant la Faye à la Sioule. Ensuite, il s'agit d'un *maar exhumé* : des dépôts alluviaux grossiers, à galets mal roulés, recouvrent encore les schistes en de nombreux points du bassin

où il n'y a pas eu d'exploitation ; ils ont gardé des pendages subhorizontaux, et recouvrent en discordance nette les dépôts sous-jacents de la bordure ouest.

2) La structure de Malmouche.

Les formations de Malmouche ont été signalées par Lecoq [1829] sous le nom de « conglomérats », nom sous lequel elles figurent encore sur la nouvelle carte géologique de Gannat à 1/50 000. Tous les affleurements se trouvent dans une ellipse de 400 m sur 300 m située entre le hameau de Malmouche et un petit ruisseau, affluent de rive gauche de la Faye, qui suit exactement sa limite est ; ils se trouvent à des cotes comprises entre 390 et 460 m ; la morphologie n'évoque pas un maar comme à Menat. Par contre les matériaux sont parfois sains, et apparaissent alors comme les produits typiques d'une activité volcanique de type maar.

Les brèches de la périphérie. Elles ressemblent tout à fait à celles de Menat : elles sont non stratifiées, altérées et riches en éléments du socle. Le contact brèche-socle s'observe dans des conditions satisfaisantes au sud : il est franc est sub-vertical.

Les formations centrales. Ce sont des brèches et des tufs où les éléments volcaniques, à faciès basaltique, sont bien reconnaissables, Il s'agit soit de bombes à cortex vitreux craquelé (bombes « en choux fleur »), soit de lapillis « trempés », soit de fragments plus petits ou de minéraux isolés formant la matrice des brèches ou la masse des tufs. Parmi les minéraux il faut signaler particulièrement l'amphibole localement très abondante, dont les cristaux de plusieurs centimètres ne sont pas rares. Là où les affleurements sont bons, à l'Ouest du sentier montant à Malmouche, les brèches montrent une disposition en bancs peu épais ; la stratification est meilleure dans les tufs. Localement elle est excellente dans des niveaux à grains très fins ressemblant à des roches sédimentaires, mais la présence de lapillis accrétiés (pisolithes de cendres) atteste qu'il s'agit bien encore de tuf cendreux (*ash fall*). Parmi les plus gros blocs des brèches on note la présence d'un basalte altéré qui n'a pas l'aspect « trempé » des bombes et ne correspond peut-être pas à du magma frais : il traduirait alors l'existence d'un volcanisme antérieur.

Les formations stratifiées supérieures. Ce sont les derniers niveaux que l'on rencontre, sur 10 m d'épaisseur environ, avant d'arriver à Malmouche. Ils sont inégalement consolidés, parfois cimentés par de l'oxyde de fer. Souvent bien stratifiés, ils évoquent des retombées aériennes, plus ou moins remaniées localement. Les blocs ne sont jamais volumineux ; les éléments volcaniques dominants sont des lapillis vitreux calibrés — actuellement argilisés — de forme souvent arrondie. Ce fait, joint à l'absence d'amphi-

bole, permet d'envisager comme hypothèse de travail, qu'il s'agit de retombées aériennes en provenance du maar de Menat.

Interprétation. L'hypothèse précédente (projections en provenance de Menat), ne saurait expliquer l'ensemble des formations de Malmouche, comme nous l'avions envisagé un moment, avant de découvrir les contacts verticaux ; les données géophysiques confirment d'ailleurs clairement « l'enracinement » de cette structure. Il s'agit bien d'un *petit diatreme indépendant de celui de Menat*, mais qui a peut-être précédé celui-ci de peu : son comblement par les retombées de Menat expliquerait bien l'absence de dépôts sédimentaires — et peut-être aussi la mauvaise expression morphologique actuelle de cette structure.

III. --- ASPECT CHRONOLOGIQUE.

1) *Données paléontologiques.* Isolé au milieu des terrains métamorphiques et formé de roches inconnes ailleurs, le Bassin de Menat ne pouvait être daté que paléontologiquement. Malgré son extraordinaire richesse en fossiles, les avis des spécialistes ont beaucoup varié, mais tous les auteurs modernes s'accordent sur un âge tertiaire inférieur. En conclusion à son important mémoire paru en 1940, Piton donne un âge éocène à partir des poissons, des reptiles et des mammifères, et plus précisément lutétien d'après les plantes et les insectes. C'est cette opinion qui a longtemps prévalu. La révision des insectes, par Balazuc et Descarpentries [1964] amène ces auteurs à rajeunir le gisement à l'Oligocène supérieur. Par contre Russel [1967], après réexamen du *Menatotherium*, pense que les caractères archaïques de ce mammifère lui confèrent un âge paléocène supérieur ; c'est également l'âge auquel aboutit Kedves [1967] à partir d'arguments palynologiques.

2) *Données géochronologiques.* L'origine volcanique des structures de Menat et Malmouche ainsi mise en évidence, nous avons logiquement recherché d'autres témoins possibles de cette activité magmatique. Par suite de la proximité des laves récentes de la chaîne de Sioule voire même de l'extrémité nord de la chaîne des Puys, il importait d'abord de déterminer l'âge de ces formations. Ces premières données radiométriques K/Ar portent sur divers pointements basaltiques affleurant au voisinage de Menat. Ce sont du Nord au Sud : le basalte des Goujats ($x = 650$; $y = 126,8$), le dyke de Vendoges ($x = 643,9$; $y = 120,6$) et le pointement basaltique de la Croix-Montmartin ($x = 645,8$; $y = 114,7$, coordonnées kilométriques de Lambert des cartes 1/50 000 de Gannat et Aigueperse). Ces formations volcaniques aujourd'hui très érodées sont intrusives dans le socle

cristallin formé soit par le microgranite de Pouzol-Servant, soit par des formations métamorphiques ou des tufs rhyolitiques viséens ; leur description pétrographique et géochimique est donnée au § V. Nous avons également analysé un échantillon de hornblende provenant des tufs de Malmouche. Les données K/Ar ont été effectuées sur la roche broyée et tamisée (fraction analysée : 28-35 mesh). Les teneurs en argon sont déterminées en utilisant un étalon Ar 38

et mesurées avec un spectromètre de masse MS 10 opérant en statique. Les teneurs en potassium sont mesurées par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les différentes techniques analytiques ont déjà été décrites plus en détail par ailleurs [J.-M. Cantagrel, 1973].

Les âges conventionnels K/Ar sont calculés en utilisant les constantes suivantes : $\lambda_{\beta} = 4,72 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$; $\lambda_e = 0,584 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ et $40 \text{ K/K} = 1,19 \cdot 10^{-2}$

Ech. n° localisation	K %	40 Ar* ng/g	40 Ar at. %	X-10 ⁶	Y	t m.a.
R-6705- Vendoges (Mn 1)	2,00	7,30	18,6	0,389	1436	51 ± 2
R-6904- Vendoges (Vd 3)	1,90	8,83	24,5	0,216	1093	64 ± 2
R-6706- Les Goujats (Mn 2)	1,73	6,98	11,0	0,649	2423	56 ± 2
R-6903- Montmartin (Mt 1)	1,19	4,59	27,7	0,220	965	54 ± 2
R-6710- Malmouche (hornblende)	1,36	5,69	12,9	0,527	2079	58 ± 2

TABLE. I. — Résultats analytiques K.Ar : X = 40 K/36 Ar.10⁶ ; Y = 40 Ar/36 Ar ; t en millions d'années.

atome % ; les erreurs sont estimées selon la méthode de Dalrymple et Lanphere [1969]. Les données analytiques sont reportées dans le tableau I.

Ces résultats sont groupés autour d'un âge moyen voisin de 56 Ma ce qui correspond à un âge paléocène supérieur pour ce volcanisme. Il faut toutefois remarquer les résultats discordants mesurés sur les deux échantillons de Vendoges ; ceci peut être lié à la présence dans ce dyke basaltique de très nombreuses petites enclaves ou xénocristaux de socle difficilement éliminables en totalité et qui peuvent perturber le système K/Ar (excès d'argon-hétérogénéité de la prise d'échantillon...). L'établissement de diagrammes $\text{Ar} = f(\text{K})$ ou $40 \text{ Ar}/36 \text{ Ar} = f(40 \text{ K}/36 \text{ Ar})$ (voir données tabl. I) dans ce cas n'apporte pas à nos yeux d'information complémentaire ou différente de celle des âges conventionnels. L'âge mesuré sur la hornblende de Malmouche est par contre concordant avec ceux déterminés en roche totale sur les basaltes ; il souligne l'intérêt géochronologique de ce minéral. Ces datations sont en bon accord avec les dernières études paléontologiques (mammalogie et palynologie), et renforcent bien sûr si besoin en était l'interprétation d'origine

volcanique du petit lac de Menat. Notons cependant qu'en toute rigueur nous n'avons pas daté le gisement même de Menat, n'ayant pas trouvé là de matériaux mesurables en K-Argon. Les observations de terrain (projections remaniées ou non de Menat sur les brèches de Malmouche), et les données magnétiques (anomalies de Menat recoupant celle de Vendoges-Bougedal) semblent indiquer au moins à titre d'hypothèse que le maar de Menat représente la structure la plus récente. L'existence d'un niveau d'origine cinéritique probable interstratifié dans les sédiments du lac montrerait néanmoins une activité volcanique postérieure non encore localisée ; la finesse et la faible épaisseur de ces produits exclut qu'ils puissent venir de Malmouche. Nous pensons néanmoins pouvoir attribuer au Menatothérium, l'un des plus vieux mammifères de France, un âge voisin de 56 Ma.

Ces données démontrent l'existence d'un volcanisme ancien, tertiaire inférieur jusqu'alors inconnu en Auvergne. Ce volcanisme paléocène représente un des stades initiaux de l'activité magmatique récente du Massif Central, antérieur à l'effondrement des grabens oligocène de Limagne. De nouvelles mesures sont nécessaires pour préciser l'extension

dans l'espace et dans le temps de cette nouvelle province ; rappelons que des âges analogues voire même plus anciens sont déjà connus en Bourgogne et Charollais [Bellon *et al.*, 1974] et plus au Nord-Est le long du fossé Rhénan [Lippolt *et al.*, 1974].

Nous allons voir dans le paragraphe suivant que ce volcanisme s'est mis en place pendant une période géomagnétique inverse, ce qui concorde, bien là aussi avec les résultats géochronologiques ; en effet, selon l'échelle des inversions paléomagnétiques la plus récente [Tarling et Mitchell, 1976], le Paléocène supérieur (de 50 à 60 Ma environ) correspond dans l'ensemble à une période magnétique inverse seu-

lement troublée par deux événements positifs d'une durée de l'ordre d'un million d'années.

IV. — ÉTUDE MAGNÉTIQUE.

Un levé magnétique au sol (fig. 3) a été effectué pour préciser l'anomalie repérée sur la carte aéromagnétique. Les valeurs du champ total sont reportées sans correction de variation diurne, après soustraction d'un champ normal, considéré comme constant sur toute la zone, et dont la valeur est égale à 46 200 γ . Un certain nombre de structures magné-

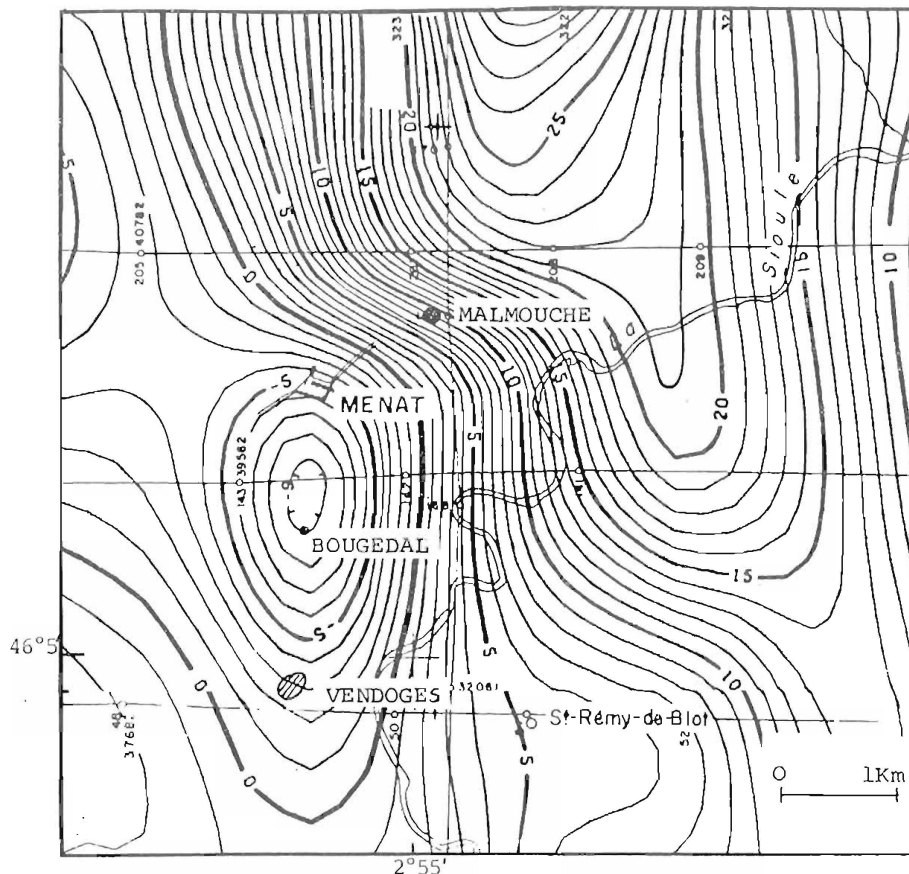


FIG. 2. — Carte aéromagnétique de la région de Menat.

Anomalies du champ total — levé I.N.A.G.-B.R.G.M. « Massif central 1972 » altitude de vol : 1 200 m, espacement des lignes : 2 km, équidistance des courbes : 1 gamma. La région est caractérisée par une anomalie positive allongée nord-sud (haut de la figure) en relation avec le microgranite de Pouzol-Servant. Les événements volcaniques paléocènes déterminent une anomalie négative (en bas à gauche de la figure) correspondant à un ensemble de structures à aimantation inverse (Vendoges, Menat, Malmouche).

tiques y apparaissent en présentant les caractéristiques générales suivantes :

a) Toutes ces structures présentent une aimantation inverse qui ne peut être qu'une aimantation thermorémanente acquise pendant une période de champ inverse.

b) Les structures ne peuvent être constituées que par du matériel effusif ou intrusif à refroidissement rapide, dont l'évolution ultérieure n'a pas modifié la disposition initiale.

c) La période de refroidissement peut correspondre, comme il est dit plus haut, à la longue période

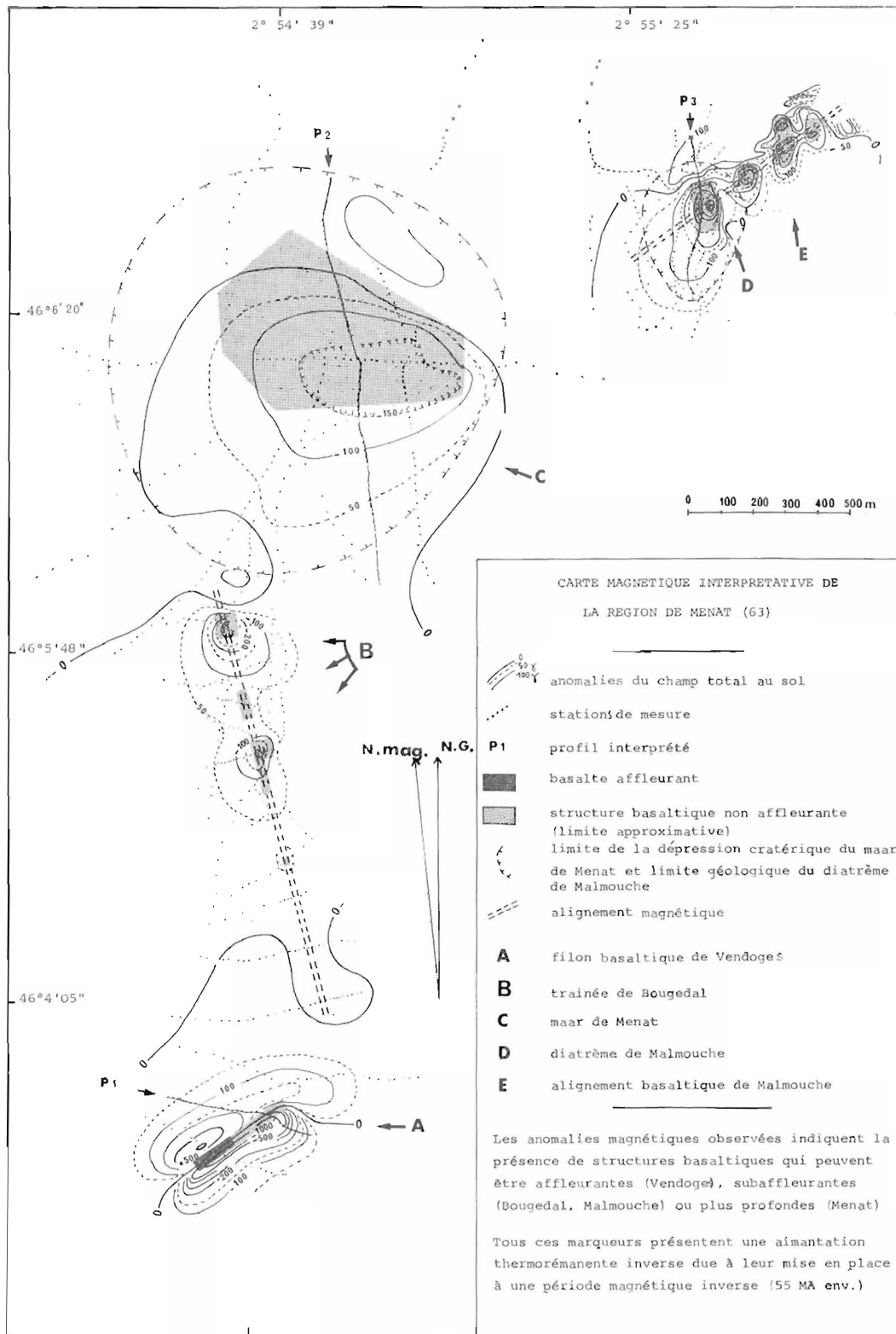


FIG. 3. --- Carte magnétique interprétative de la région de Menat.

inverse allant de 50 à 60 Ma environ, sans que le paléomagnétisme puisse apporter une précision supplémentaire de datation par rapport aux déterminations d'âge K/Ar.

d) L'aimantation totale créant l'anomalie magnétique est la somme vectorielle de l'aimantation rémanente naturelle, de sens inverse, et de l'aimantation induite, de sens direct. L'aimantation totale est donc plus faible que les valeurs moyennes calculées sur des structures basaltiques à aimantation normale.

e) La disposition de ces structures est variable : toit affleurant, sub-affleurant ou profond (100 m), forme filonienne, accumulation de basalte massif.

f) Le terrain encaissant présente une aimantation négligeable, rendant plus facile l'interprétation des structures basaltiques. Certains appareils, cependant, sont bordés de produits de projections en surface, apportant des perturbations magnétiques localisées.

1) *Le filon de Vendogés*. Situé à environ 3 km au Sud de la structure de Menat (fig. 3), le filon de Vendogés se marque dans la topographie sur une longueur de 200 m environ et affleure sur une distance

d'une centaine de mètres, avec une puissance de 20 m et un pendage estimé subvertical. Son extension nord-est est vérifiée par profil magnétique et une interprétation du profil P1 [Breugnot, 1976] indique un recouvrement d'une quinzaine de mètres d'épaisseur (fig. 4). Entre le filon de Vendogés et la structure de Menat, on reconnaît un cortège de structures alignées suivant une direction NNW, s'arrêtant brutalement au niveau de la dépression, sous un recouvrement de quelques mètres seulement. Cet alignement pourrait représenter une intrusion volcanique antérieure au maar de Menat, et qui aurait été intersectée par celui-ci.

2) *La structure de Menat*. Le levé magnétique au sol de la figure 3 confirme la présence d'une structure sub-circulaire à aimantation inverse sur le site de Menat.

Le profil Nord-Sud (fig. 5 c) passant par le centre de la structure montre également la présence d'anomalies superficielles, dont une négative très intense sur la partie nord du profil.

Une interprétation rapide par abaques [Aubert, 1964], indique un diamètre de l'ordre de 400 m, une profondeur moyenne de 100 m. Mais la forme de l'anomalie suggère une forme géométrique assez complexe.

Une première série d'essais consiste à calculer une distribution d'aimantations (fig. 5 a) à profondeur de toit constante [Breugnot, 1977]. La structure globale apparaît décentrée vers le Nord-Est par rapport à la dépression topographique, les aimantations étant également beaucoup plus fortes au Nord-Est, tout en gardant des valeurs inférieures à celles couramment rencontrées pour les basaltes en filon ou en coulée.

Un autre modèle à aimantation uniforme et à profondeur du toit variable (fig. 5 b) s'inspire du résultat précédent ainsi que des formes connues de conduits éruptifs.

L'importante épaisseur de la structure est rendue nécessaire pour expliquer tant la forme de l'anomalie au sol que l'amplitude de celle mesurée à 1 200 m d'altitude sur le profil passant au Sud de Menat. L'intensité d'aimantation calculée est alors relativement faible. On peut supposer que, tout en étant globalement en place, le matériel lavique ne remplit qu'une part de la structure, le reste étant formé de brèches. Un modèle possible de ce mélange pourrait être un essaim de filons armant le complexe bréchique.

On peut penser en particulier, d'après le modèle à aimantation variable, que la partie nord-est du cratère comporte davantage de basalte massif que la partie sud-ouest où la fraction brèches pourrait prédominer.

Les anomalies de courte extension relevées sur le profil P2 (fig. 5 c) sont à rapporter au sous-sol

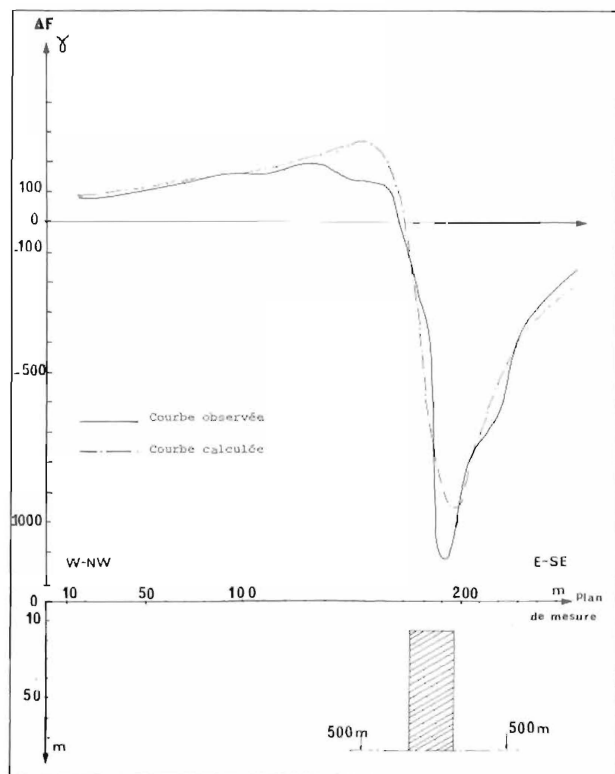
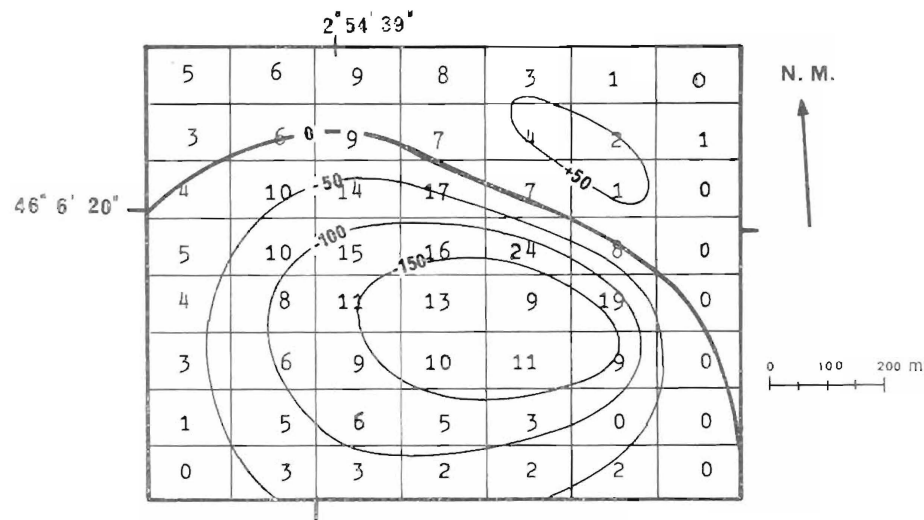
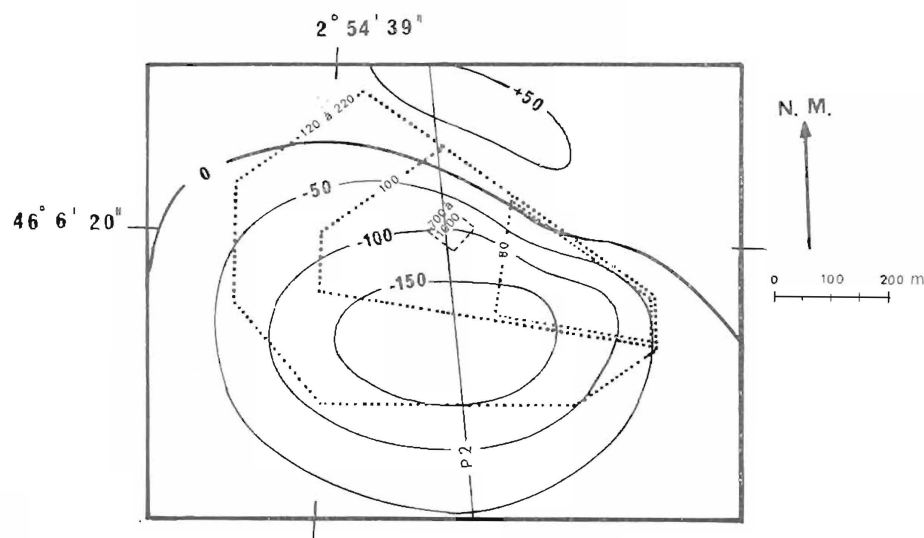


FIG. 4. — Filon de Vendogés : Interprétation du profil P1.

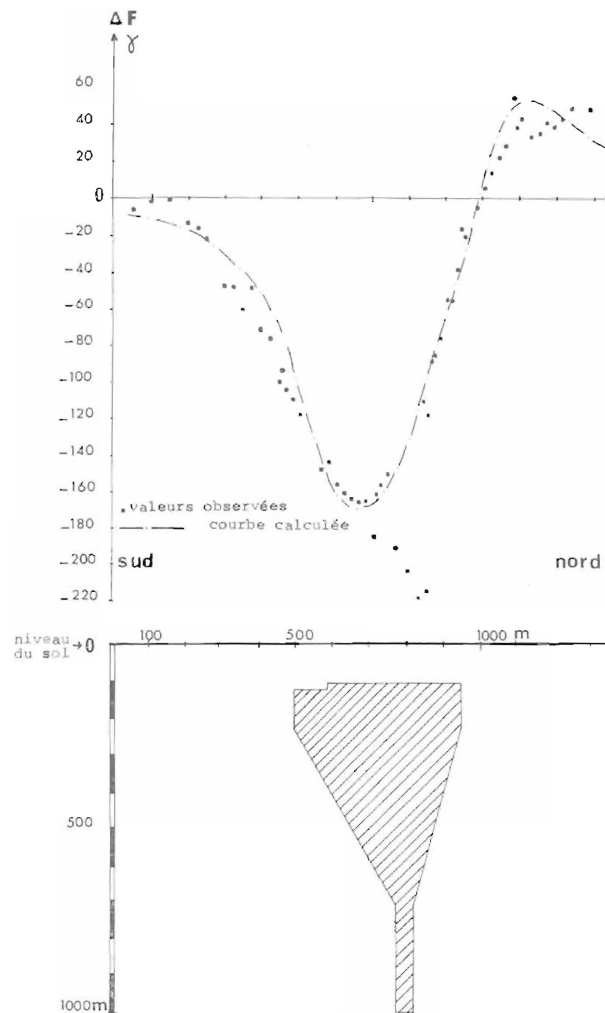
Comparaison entre le profil expérimental et le profil calculé pour la structure représentée. Intensité d'aimantation totale : $J = 4\,700\,10^{-6}$ u.e.m.C.G.S./cm, J dirigée en sens inverse du champ actuel.



a



b



c

FIG. 5. — Interprétation magnétique de la structure de Menal.

a : Distribution d'aimantation pour un assemblage de prismes et champ calculé pour cette distribution (équidistance des courbes : 50 gammas). Profondeur du toit des prismes : 100 m ; épaisseur : 100 m. Intensité d'aimantation totale J exprimée en 10^{-4} u.e.m C.G.S./cm³, J dirigée en sens inverse du champ actuel.

b : Champ calculé pour une structure en trois dimensions à aimantation uniforme et de sens inverse : $J = 630 \cdot 10^{-8}$ u.e.m. C.G.S./cm³. Équidistance des courbes : 50 gammas. La structure est définie par des contours horizontaux (en pointillé) dont la profondeur est indiquée en mètres.

c : En haut : comparaison entre le profil de mesure P2 et le champ calculé. En bas : coupe de la structure suivant P2.

immédiat ; peut-être sont-elles liées aux produits de la combustion spontanée de certains niveaux riches en pyrite comme les ont décrits les auteurs anciens.

3) *Alignement volcanique de Malmouche.* A l'Est du hameau de Malmouche, le levé magnétique au sol met en évidence plusieurs anomalies intenses formant un alignement nord-est sur une distance supérieure à 500 m avec une largeur moyenne de 100 m. Les corps magnétiques correspondants présentent une aimantation inverse révélant qu'il s'agit, de même qu'à Menat et Vendoge, de roches effusives ou intrusives ayant acquis une aimantation thermorémanente à une période inverse du champ. Ces masses volcaniques sont situées à une profon-

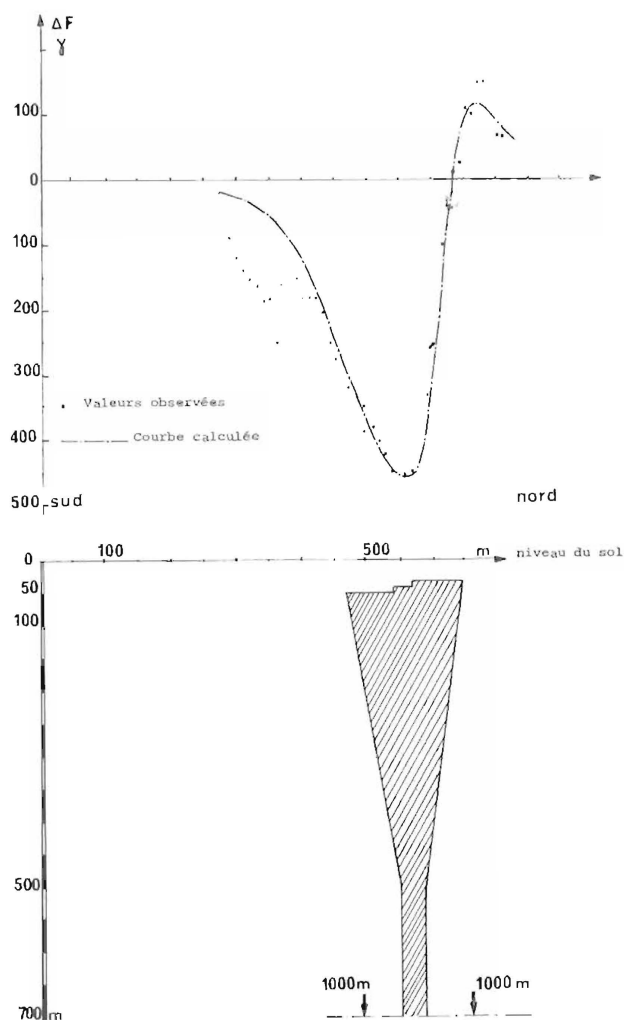


FIG. 6. — Interprétation de la structure de Malmouche.

En haut : profil mesuré P3 et profil calculé. En bas : structure correspondante. Intensité d'aimantation totale : $J = 2350 \cdot 10^{-3}$ u.e.m.C.G.S./cm³, J dirigée en sens inverse du champ actuel.

deur maximum de quelques dizaines de mètres sous la surface du sol.

L'anomalie la plus importante, en dimension et intensité, est celle de l'extrémité sud-ouest de l'alignement. Elle s'inscrit dans la structure du diamètre de Malmouche. La structure magnétique (fig. 3) présente un allongement nord-sud avec un toit plus superficiel vers le Nord-Est. Elle correspond probablement à une colonne de lave éventuellement évasée vers le haut à ce niveau du conduit éruptif (fig. 6).

Les autres anomalies indiquent également la présence de masses de lave en place à faible profondeur. En l'absence d'affleurements géologiques, leur interprétation précise est plus délicate que celle de l'anomalie associée de façon nette au diatrème. Si l'on note d'une part leur alignement et d'autre part le fait qu'elles se localisent précisément au creux d'une vallée rectiligne, on peut admettre que ces structures témoignent d'une intrusion magmatique le long d'une cassure. Une éruption, au moins, s'est produite à l'aplomb de cette fissure : celle du maar de Malmouche.

4) *Extension de la province volcanique.* Ces premières études géologiques et géophysiques montrent donc un ensemble de témoins volcaniques paléocènes dépassant le cadre initial de la structure de Menat. Les anomalies magnétiques associées à ces masses volcaniques présentent au sol un style caractérisé par une aimantation inverse et une extension faible due à la profondeur superficielle du marqueur. Par contre, la recherche de ces anomalies sur le levé aéromagnétique s'avère délicate en raison de l'espacement trop grand des lignes de vol (2 km) et de la proximité de la Chaîne des Puys qui crée des anomalies de grande amplitude.

Cependant, des identifications restent possibles dans plusieurs cas ; l'un d'eux, l'anomalie de Montmartin à 9 km au Sud de Menat, correspond à un affleurement connu et dont l'âge paléocène vient d'être déterminé (voir ci-dessus). Il est certain que ces anomalies ne peuvent être mesurées avec précision sur le levé aéromagnétique que si une ligne de vol les surplombe. La détection de jalons éventuels entre la région de Menat et les phénomènes volcaniques contemporains découverts dans le Forez et dans le Charolais est rendue encore plus difficile au niveau de la Limagne où la cote du socle, et donc du toit des marqueurs éventuels, est à une altitude très basse.

V. — DONNÉES PÉTROGRAPHIQUES ET CHIMIQUES.

1) *Pétrographie.* Les laves provenant des trois zones d'affleurement reconnues — Les Goujats —

Nade, Vendoges et Montmartin — présentent des caractères alcalins similaires : les phénocristaux sont constitués d'olivine et de clinopyroxène, les microlites de clinopyroxène et de plagioclase, la mésostase

enfin, de feldspath alcalin et parfois d'analcime. Les différences portent sur les abondances relatives de ces différentes phases minérales, sur les structures des roches et sur leurs enclaves (tabl. II).

Localités	Phénocristaux			Microlites					Mésostase		Xénolites		
	Ol	Cpx	Op	Ol	Cpx	Ol	Pl	Bi	F. dc.	Foïde	migm.	pérido.	amph.
Les Goujats Nade	2	3	—	—	30	10-15	25	oui	25	—	2		—
Vendoges	5	10-15	—	—	30	10-15	—	—	30-40	oui	10		
Montmartin	4	3	4	2	50-60	10	10-15	—	—	oui	3		

Tabl. II. — Mode estimé en % du volume des laves de la région de Menat.

L'olivine qui apparaît en phénocristaux est généralement automorphe avec des golfes de croissance et/ou de corrosion. Sa composition, estimée à partir de l'angle des axes optiques est voisine de F085 au cœur des cristaux. Si un zonage existe, il n'a pu être mis en évidence par suite de la taille des sections. Très souvent, d'ailleurs, la périphérie des cristaux est transformée en howlingite.

Les phénocristaux de clinopyroxène, également automorphes, présentent typiquement un cœur incolore ou vert-jaunâtre et une écorce rose-brunâtre. Leur bordure est souvent chargée de minéraux opaques. Il s'agit d'un pyroxène calcique (diopside ou salite) s'enrichissant en titane à la périphérie. Les microlites, d'après leurs caractères optiques, sont de même nature que la partie externe des phénocristaux.

Le plagioclase cristallise seulement en microlites zonés. Leur cœur est du labrador (An 65 environ) tandis que leur bordure devient plus sodique (An 45). Parfois il se développe une écorce tardive d'oligoclase.

Les minéraux opaques, en cristaux cubiques ou en amas, sont constitués en grande partie par de la magnétite. Accessoirement, il leur est parfois associé de la biotite brun-rouge. Elle cristallise autour des grains opaques mais également en lamelles automorphes à leur voisinage.

Le feldspath alcalin constitue l'essentiel de la mésostase en plages xénomorphes ou subautomorphes. L'ébauche de macles polysynthétiques plaide en faveur d'une composition sodique. Il contient de nombreuses acicules réfringentes d'apatite.

Certaines plages très peu biréfringentes où se trouvent des macles polysynthétiques doivent sans doute être constituées par un feldspathoïde cubique, vraisemblablement de l'analcime. Des résultats préliminaires de diffractométrie X sur phase enrichie

confirment sa présence à Montmartin et dans certains échantillons de Vendoges, mais la complexité du mélange étudié exige un travail supplémentaire actuellement en cours.

Les xénolites remontés par les filons se divisent en trois catégories : des fragments de socle migmatitique plus ou moins désagrégés, des nodules de péridotite souvent réduits à leurs minéraux constitutifs et enfin des mégacristsaux d'amphibole.

Les enclaves migmatitiques ont subi des transformations souvent décrites ; il apparaît autour d'elles une auréole de clinopyroxène vert aegyrienne tandis que l'intérieur est remplacé par des feldspaths alcalins, de la biotite, de la calcite ou un verre incolore. Dans les cristaux d'orthose il apparaît parfois de la leucite automorphe maclée et riche en inclusions d'apatite ainsi que l'a déjà signalé J. Mendoza [1972] à Sauterre.

Les nodules de péridotite possèdent, lorsqu'ils sont encore assez gros, une composition de lherzolite (Ol₅₅ Di₁₅ En₃₀). Leurs minéraux sont déformés mécaniquement ce qui permet de les identifier lorsqu'ils sont isolés dans la lave.

L'amphibole, une pargasite titanifère vert-jaunâtre à brune, donne différents produits de déstabilisation. La paragenèse complète comporte de l'olivine squelettique, du clinopyroxène, un plagioclase, de la rhoénite et des minéraux opaques. Il convient de noter que cette amphibole est identique à celle rencontrée dans les tufs de Malmouche. Elle contient parfois des cristaux d'olivine et est étroitement associée à des phénocristaux de pyroxène.

2) *Chimie*. Les analyses des échantillons provenant de la région de Menat confirment le caractère alcalin de ces laves (tabl. III) ; les normes CIPW mettent toutes en évidence de la néphéline virtuelle dont le pourcentage en général égale ou dépasse

5 %. Ceci permet de qualifier ces roches de basanitoïdes et de basanites lorsque la présence d'analcime est confirmée. La forte teneur en silice de certains échantillons les rapproche des hawaiiites et traduirait un début d'évolution, mais à Vendogés cette abondance est peut-être liée aux nombreuses enclaves de faible taille de composition granitique qui s'observent dans la roche ; ainsi si on soustrait 10 % de

roche granitique de la composition de ce basalte (hypothèse maximum car les 10 % de xénolites de ce gisement contiennent aussi des péridotites et de l'amphibole) la silice tombe à 44 %, la chaux et la magnésie sont augmentées de 1 %, et les pourcentages des autres oxydes demeurent pratiquement inchangés ; ceci se traduit par un léger déplacement sur le diagramme de la figure 1.

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	47,00	46,50	46,60	47,00	46,50	46,90	43,70
Al ₂ O ₃	14,00	13,50	13,00	13,20	14,00	13,80	13,00
Fe ₂ O ₃	4,59	4,02	5,33	4,32	4,80	4,19	4,96
FeO	6,05	6,80	5,11	5,84	6,05	7,10	6,35
MgO	9,10	8,20	8,70	8,20	8,80	9,30	11,50
CaO	8,50	8,90	9,00	8,90	8,35	8,55	10,40
Na ₂ O	3,60	3,80	3,60	3,90	3,75	3,65	3,00
K ₂ O	1,90	2,20	2,20	2,35	1,90	1,90	1,40
TiO ₂	3,00	2,70	2,80	2,80	2,80	2,80	3,00
MnO	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,20	0,19
P ₂ O ₅	n. d.	0,40	n. d.	n. d.	1,20	0,80	n. d.
H ₂ O ⁺	0,86	1,50	1,90	2,03	1,70	0,70	1,39
H ₂ O ⁻	0,36	0,5	0,46	0,39	0,70	0,50	0,29
TOTAL	99,11	99,17	98,85	99,07	100,70	100,39	99,18
Or	11,24	12,79	13,01	13,90	11,12	11,12	8,28
Ab	21,62	18,86	18,98	17,73	25,94	23,06	10,04
An	16,40	13,34	12,78	11,54	15,85	15,57	17,84
Ne	4,77	7,10	6,20	8,26	2,98	4,26	8,30
SiO ₃ Ca	10,77	11,83	13,31	13,62	7,89	9,16	14,10
SiO ₃ Mg	8,53	8,60	11,23	10,65	6,20	6,70	11,28
SiO ₃ Fe	0,99	2,11	0,33	1,45	0,79	1,58	1,16
Ma	6,66	5,8	7,73	6,26	6,96	6,03	7,19
Ilm	5,70	5,17	5,32	5,32	5,32	5,32	5,70
SiO ₄ Mg ₂	9,95	8,4	7,37	6,90	11,06	11,62	12,23
SiO ₄ Fe ₂	1,27	2,04	0,24	1,03	1,63	3,06	1,39
Ap	-	1	-	-	2,69	2,02	-

TABLE III. — Analyses des éléments majeurs des laves de la région de Menat.

1 : Les Goujats (Ma 2) ; 2 : Les Goujats (éch. Grolier 1963) ; 3 : Vendogés (Mn 1) ; 4 : Vendogés (Vend 3) ; 5 : Vendogés (éch. Grolier 1963) ; 6 : Chamberon près de Nadés (éch. Grolier 1963) ; 7 : Montmartin (Ml 1).

Si l'on compare ces roches avec celles de même âge décrites dans le Forez [J. Hernandez, 1973, 1976] et en Bourgogne [H. Bellon *et al.*, 1974] il apparaît qu'elles sont plus nettement enrichies en silice et en alcalins (fig. 7), le rapport Na₂O/K₂O restant voisin de 2. Au Tertiaire inférieur les laves

du Massif central sont donc représentées par des néphélines à méilite, des néphélines, des basanites, des basanitoïdes et des basaltes alcalins. L'ébauche de lignée ainsi définie se superpose à la disposition géographique des gisements ; d'Est et Ouest ces laves deviennent moins calciques. La

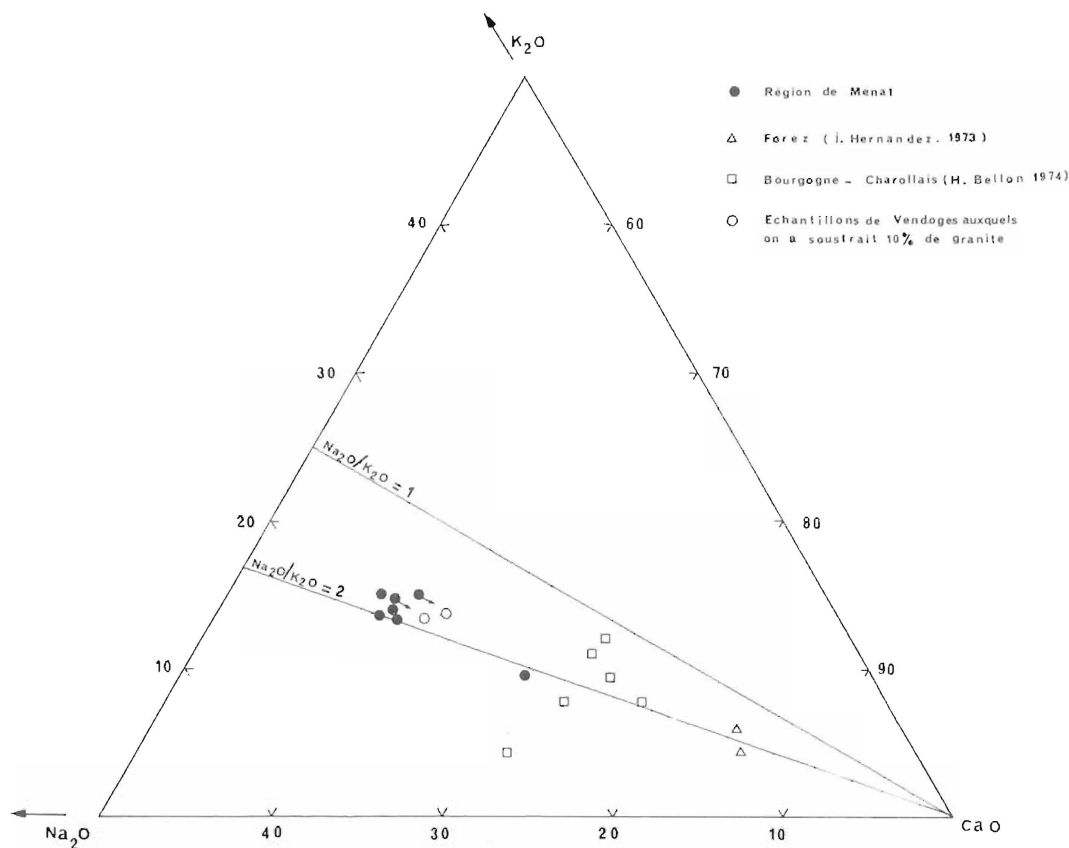


FIG. 7. — Diagramme $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$. Laves paléocènes et éocènes du Massif central.

compréhension de ce phénomène exige d'abord un inventaire exhaustif des laves de cet âge et ensuite un travail géochimique plus approfondi. Ce programme de recherche est en cours. Cependant il faut remarquer que nous retrouvons le même éventail pétrographique aux abords du fossé rhénan [H. J. Lippolt, 1974]. Il est probable que les causes expliquant la présence de ces laves soient les mêmes dans les deux cas et liées à la genèse des fossés d'effondrement.

VI. — CONCLUSIONS.

L'ensemble des données de cette étude pluridisciplinaire permet de dégager les conclusions suivantes :

Le caractère énigmatique du célèbre bassin de Menat nous paraît résolu de façon satisfaisante : il s'agit du remplissage d'un cratère d'explosion du type maar où les données magnétiques révèlent la présence de basalte en place à une centaine de mètres de profondeur. L'âge paléontologique présumé éocène posait le problème de l'existence d'un volca-

nisme de cette époque, jusque là inconnu dans la région. Un inventaire géologique et géophysique systématique des environs a montré que cette structure n'était pas isolée ; Il en existe une autre du même type : Malmouche ; par ailleurs divers pointements basaltiques dans le voisinage leur sont associés. Les levés magnétiques indiquent l'extension du filon de Vendoges en profondeur et jusqu'à Menat, ainsi qu'un alignement d'intrusions volcaniques dans le prolongement du diatreme de Malmouche. Les datations géochronologiques leurs attribuent à tous un âge paléocène supérieur (environ 56 Ma). Ce qui permet de trancher entre les diverses interprétations concernant l'âge des flores et des faunes de Menat. Cet aspect chronologique est conforté par les données géomagnétiques qui montrent que les aimantations associées à ces structures sont de polarité inverse. Cette caractéristique devrait servir de guide de prospection pour mettre en évidence de nouveaux appareils volcaniques contemporains. Si l'âge de ce volcanisme est remarquable, sa nature demeure banale. Il s'agit de basaltes alcalins semblables à ceux connus partout ailleurs dans le Massif Central. Ils peuvent, cependant, prendre

place dans une série volcanique comprenant aussi les laves plus sous-saturées de même âge du Forez et du Charollais.

L'origine volcanique du bassin de Menat pourrait peut-être expliquer certains traits originaux du paléocosystème : le mélange des flores n'était-il pas en rapport avec un microclimat engendré par des sources chaudes ou des fumerolles ? La mortalité importante des animaux supérieurs n'était-elle pas en relation avec des dégagements de gaz carbonique ? Mais cet aspect de la question dépasse le cadre de ce travail.

Enfin, afin de replacer ce volcanisme dans un cadre

géodynamique plus vaste il importe de souligner que cette activité magmatique, la plus ancienne actuellement connue en Auvergne, se situe chronologiquement avant la formation des grabens de Limagne et le début de leur sédimentation. L'inventaire complet et l'étude de ces manifestations précoces actuellement en cours est à nos yeux nécessaire avant de pouvoir proposer un modèle génétique général pour l'ensemble du volcanisme alcalin du Massif Central.

1. Dans son article Lecoq emploie comme synonymes les expressions : « lignite », « lignites schisteux » et « schistes ».

Références

- AUBERT M. (1964). — Interprétation des cartes magnétiques au moyen d'abaques pour structures cylindriques. *Ann. Géophys.*, t. 20, n° 3, p. 329-335.
- BALAZUC J. et DESCARPENTRIES A. (1964). — Sur *Lampra Gautieri* BRUYANT et quelques autres *Buprestidae* fossiles des schistes de Menat (Puy-de-Dôme), *Bull. Soc. Entomol. Fr.*, 69, p. 47-108.
- BELLON H., GILLOT P. Y. et NATIVEL P. (1974). — Eocene volcanic activity in Bourgogne and Charollais, Massif Central (France). *Earth Plan. Sc. Lett.*, vol. 23, p. 53-58.
- BREUGNOT D. (1976). — Interprétation automatique des anomalies bidimensionnelles du champ magnétique par un algorithme de minimisation au sens des moindres carrés. Doct. 3^e cycle, Univ. Paris VI.
- CANTAGREL J. M. (1973). — Signification des âges à l'argon déterminés sur amphiboles dans les socles métamorphiques anciens. *Ann. Sc. Univ. Clermont.* n° 50, Géol. Fasc. 24, 282 p.
- CAYEUX L. (1929). — Les roches sédimentaires de France — Roches Siliceuses — *Mém. Serv. Carte Géol. France.*
- CLOOS H. (1941). — Ban und Tätigkeit von Tuffschloten : Untersuchungen an dem Schwabischen Vulkan. *Geol. Rdsch.*, 32, p. 709-800.
- DALRYMPLE G. B. et LANPHERE M. A. (1969). — Potassium-argon dating principles, techniques and applications to geochronology. San Francisco, W. H. Freeman and Co. Edit. 1 vol., 258 p.
- DANGEARD L. (1934). — Observations sur les schistes bitumeux de Menat et sur une roche à grains de pollen du Puy de Mur et de Gergovie. *Bull. Soc. Hist. Nat. Auvergne*, n° 22.
- GROLIER J. (1971). — Contribution à l'étude géologique des séries cristallophylliennes inverses du Massif central français : La série de la Sioule. *Mém. B.R.G.M.*, n° 64.
- JUNG J. (1946). — Géologie de l'Auvergne. *Mém. Serv. Carte Géol. Fr.*
- HERNANDEZ J. (1973). — Le volcanisme tertiaire des Monts du Forez (Massif central français) : basanites à analcime, à leucite et néphélines à mélibite. *Bull. Soc. Fr. Minér. Cristallogr.*, 96, p. 303-312.
- HERNANDEZ J. (1976). — Données nouvelles sur la composition minéralogique de la néphéline de Marcoux (Forez). *Bull. Soc. Fr. Minér. Cristallogr.*, 99, p. 61-66.
- KEDVES M. (1967). — Quelques types sporomorphes du bassin lignitifère de Menat. *Acta Univ. Szeged. Acta Biol.*, t. 13, n° 1-2, p. 11-23.
- LECOQ H. (1829). — Description géologique du Bassin de Menat, *Ann. Soc. indust. stat. Auvergne*, t. II, p. 433-444 (Pub. Acad. Sc. B. Lett. Arts Clermont-Fd).
- LECOQ H. (1867). — Les époques géologiques de l'Auvergne. Paris, Baillière et Fils Edit., 5 vol.
- LIPPOLT H. H., TODT W. et HORN P. (1974). — Apparent potassium argon ages of Lower tertiary Rhine graben volcanics. In « Approaches to Taphrogenesis », I.U.C.G., Sci. Report n° 8, p. 213-221. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- MENDOZA-DELGADILLO J. (1972). — Pétrographie et géochimie des laves de la Chaîne de la Sioule. (Massif central français). Thèse 3^e cycle Univ. Clermont-Fd.
- MILLOT G. (1964). — Géologie des argiles. Paris, Edit. Masson.
- PITON L. E. (1940). — Paléontologie de gisement éocène de Menat (P. de D.). *Mém. Soc. Hist. Nat. Auvergne*, n° 1, 305 p.
- RUSSEL D. E. (1967). — Sur Menathotherium et l'âge paléocène du gisement de Menat (Puy-de-Dôme). In : « Problèmes actuels de Paléontologie (évolution des Vertébrés). Coll. Inter. C.N.R.S., n° 163, p. 483-489.
- TARLING D. H. et MITCHELL J. G. (1976). — Revised Cenozoic polarity time scale. *Geology*, vol. 4, n° 3, p. 133-136.