

# LE STRATO-VOLCAN DES BOUTIÈRES : LE VELAY EN ARDÈCHE

*François Audubert, Jean Combettes, Roland Mahérault,  
membres de la Commission de volcanisme de la SAGA.*



*Les Rochers des Cuzets forment la crête du cirque des Boutières.  
Ils sont vus ici depuis le belvédère que l'on atteint en partant de la Croix de Boutières.*

Après le voyage de 2011 dans le Devès, massif volcanique du Velay occidental compris entre Allier et Loire (voir *Saga Information* n° 317, mai 2012), la Commission de volcanisme de la SAGA a effectué, en septembre 2018, un voyage d'étude dans la partie orientale du Velay. Les vingt sept participants à ce voyage, sous la conduite de Dominique Rossier, comptaient également parmi eux Alain Guillon, familier du volcanisme du Velay et ancien animateur de la Commission, tandis que Casimir Cortial, ancien président du Groupe géologique de la Haute-Loire, grand connaisseur du sous-sol de son département, nous accompagnait et nous guidait dans ce voyage.

Si le Devès nous avait montré un grand nombre de manifestations du volcanisme fissural n'émettant que des laves basaltiques, l'est du Velay, au cours de trois jours d'excursions, nous a montré un volcanisme très différent par les laves émises et, par conséquent, dans les formes de relief. Ces deux types de volcanisme diffèrent aussi par leur âge puisque le paroxysme de l'activité du Devès se situe de - 2 à - 1 Ma, le second, plus ancien, de - 12 à - 6 Ma. Le Devès, avec le marais de Limagne « laboratoire de l'hydromagmatisme », nous avait permis de nous familiariser, à côté du volcanisme strombolien, avec les dépôts de type maar, mais aussi des dépôts de type surtseyen.

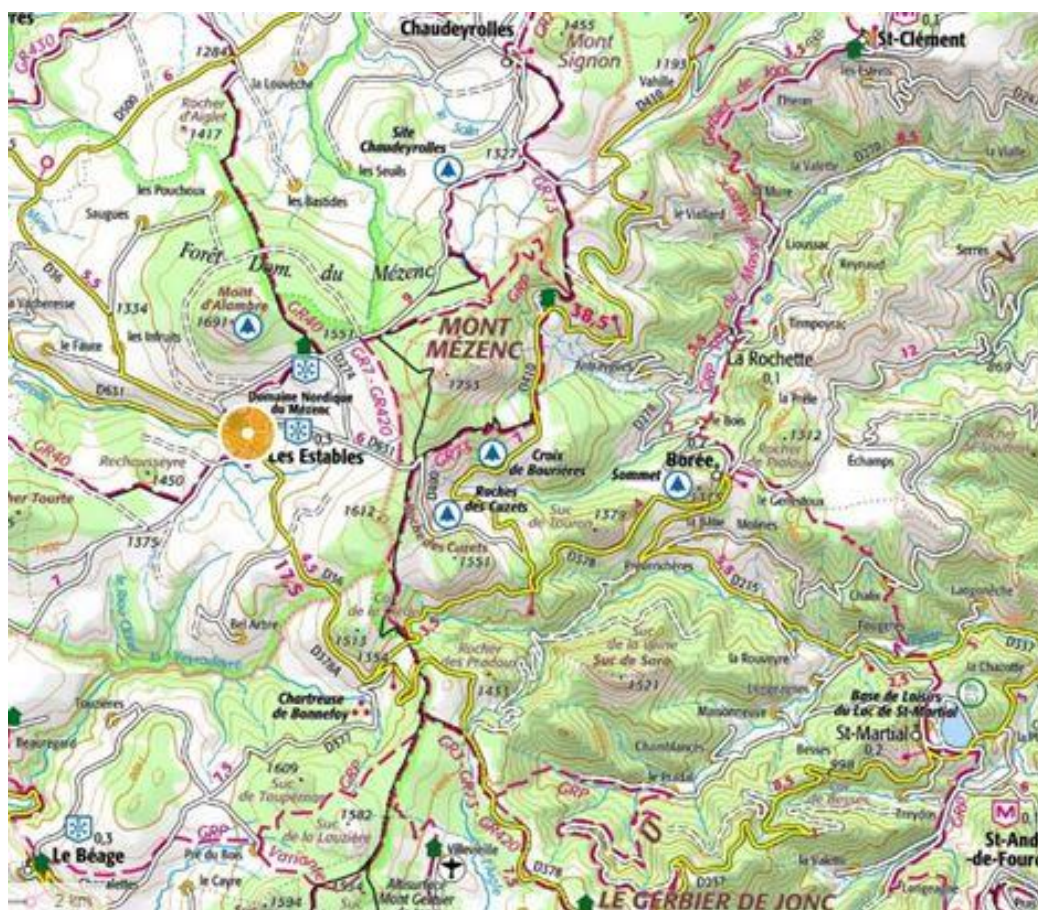


Figure 1. Carte IGN de la région des Boutières.  
La distance à vol d'oiseau Le Béage-Saint-Clément est de 16 km.

Nous retrouverons plusieurs de ces manifestations dans le Velay oriental. Celui-ci, proche de la bordure du Massif central, a subi des déformations tectoniques qui viennent compliquer son étude.

Il nous faut encore citer ici les grands précurseurs de l'étude du volcanisme de l'est du Massif central : Faujas de Saint-Fond, Giraud-Soulavie, Demarest, au XVII<sup>e</sup> siècle. Cependant, la diversité des roches volcaniques n'apparaîtra qu'au siècle suivant avec le géologue George Poulett-Scrope qui introduit la notion de laves visqueuses et utilise le nom de phonolite. Ces roches différentes du basalte sont présentes en abondance dans le Velay oriental. Plus récemment, Mergoïl et Boivin, puis Hodges, et d'autres géologues, ont apporté une contribution moderne à ces études qui utilisent maintenant les techniques physiques et chimiques récentes mises à la disposition des géologues.

### Les Boutières ardéchoises et le cirque des Boutières ; histoire et géographie

Les Boutières constituent une région du département de l'Ardèche sans limites géographiques très précises et qui n'a jamais correspondu à une entité juridique.

Actuellement, on la considère comme une zone correspondant au bassin de la rivière Eyrieux ; elle s'étend du cirque des Boutières, au pied du mont Mézenc, en direction de Privas suivant une diagonale jusqu'à La Voulte-sur-Rhône. Elle fait partie du Parc Naturel Régional des Monts d'Ardèche, créé en 2001, qui s'étend au-delà des Estables, en Haute-Loire, et du Géoparc mondial UNESCO des Monts d'Ardèche, né en 2014.

Les nombreux affluents de la rive droite de l'Eyrieux (Saliouse, Eysse, Dorne, etc.) ont creusé de profondes saignées, de direction approximative SO-NE, sur les pentes orientales de la montagne, formant des crêtes aux versants raides découpées en longueur appelées « serres ». Le nom de Boutières serait antérieur au XV<sup>e</sup> siècle mais son origine toponymique est obscure : il pourrait désigner les outres en peau de chèvre, ou « boutas », dans lesquelles les transporteurs muletiers se rendant au Puy plaçaient leurs vins, ou bien il pourrait désigner certaines voies utilisées pour le transport du vin dans ces régions où les mauvais chemins sont en général appelés « vialas ». Autrefois, en effet, les échanges étaient nombreux entre le bas et le haut pays pour les produits agricoles et les textiles, et une voie existait, à partir de Privas, qui suivait les

lignes de crêtes. La haute montagne à la charnière du Velay et du Vivarais est aussi la ligne de partage des eaux entre l'Atlantique, vers la Loire, et la Méditerranée, vers le Rhône. La différence des pentes est notable depuis le mont Mézenc placé exactement à la limite des départements de Haute-Loire et Ardèche : l'abaissement est progressif à l'ouest, beaucoup plus abrupt à l'est. En ce qui concerne le volcan des Boutières, situé presque au sommet de ce haut pays, on parle de Hautes-Boutières, zone cristalline et volcanique. Cette zone est située à l'emplacement d'un fossé d'effondrement du socle cristallin et a été profondément remaniée par l'érosion renforcée par des mouvements tectoniques et des événements géologiques que nous examinerons par la suite.

L'emprise du stratovolcan des Boutières, situé à l'est du mont Mézenc, s'étend sur 1 à 2 km et nous proposons dans ce rapport d'étudier les manifestations volcaniques d'une zone prolongée jusqu'au village de Borée et alentours.

Ce volcanisme, bien qu'il se situe administrativement dans le Vivarais, est apparenté pour l'essentiel au volcanisme ancien du Miocène supérieur du Velay oriental et se distingue du volcanisme récent du Vivarais de la fin du Pliocène ou du Quaternaire récent.

### Les stratovolcans. Qu'est-ce qu'un stratovolcan ?

Les stratovolcans sont, en un même lieu, le produit d'éruptions volcaniques successives, séparées par des périodes de repos ; ils sont également appelés volcans « polygéniques », ou « composites ». Leur activité peut s'étendre sur de très longues durées, parfois sur plusieurs millions d'années, et occuper une surface très étendue pour les plus grands d'entre eux.

Leur cône est édifié par l'alternance de coulées de laves et de coulées pyroclastiques (projections de blocs, de lapilli, de laves ou de cendres) qui forment des strates, d'où leur nom de stratovolcans.

Les stratovolcans sont centrés autour d'une zone d'émission principale plus élevée, mais d'autres bouches (cônes adventifs), qui ont pu émettre des laves de compositions différentes, peuvent se trouver sur les flancs du cône principal. Leur morphologie dépend de la nature des différentes laves émises, plus ou moins fluides. Ils peuvent avoir eu des phases de volcanisme de différents types : strombolien, hydro-magmatique, explosif avec émission de nuées ardentes, également des phases de destructions partielles par écroulement gravitaire, par formation d'une caldeira, par coulées de boue et par érosion en général (ruissellement, gel, vent, etc.). Celle-ci tend à mettre en relief les parties les plus dures de l'édifice. Des éruptions d'intensité exceptionnelle peuvent également produire des effondrements au centre ou sur les flancs, qui viennent réduire brusquement la hauteur de l'édifice.

Des exemples de stratovolcans sont donnés en France par l'énorme édifice du Cantal et par le massif des Monts Dore-Sancy (visité en 2012), constitué d'un ensemble de stratovolcans, dont le mont Dore à l'emplacement de la caldeira de Dordogne, et celui du Sancy. En Italie, c'est le Vésuve ; plus au sud, l'Etna, volcan de 3 300 m de hauteur, s'effondre peu à peu sous son propre poids ; les deux sont actifs depuis 500 000 ans. Aux USA, le stratovolcan du mont Saint Helens a fait parler de lui, en 1980, notamment par un écroulement cataclysmique et par des écoulements boueux de grande ampleur. Les caractéristiques de ces volcans impliquent, selon les géologues, l'existence d'un réservoir superficiel de grand volume rempli périodiquement par un réservoir profond.

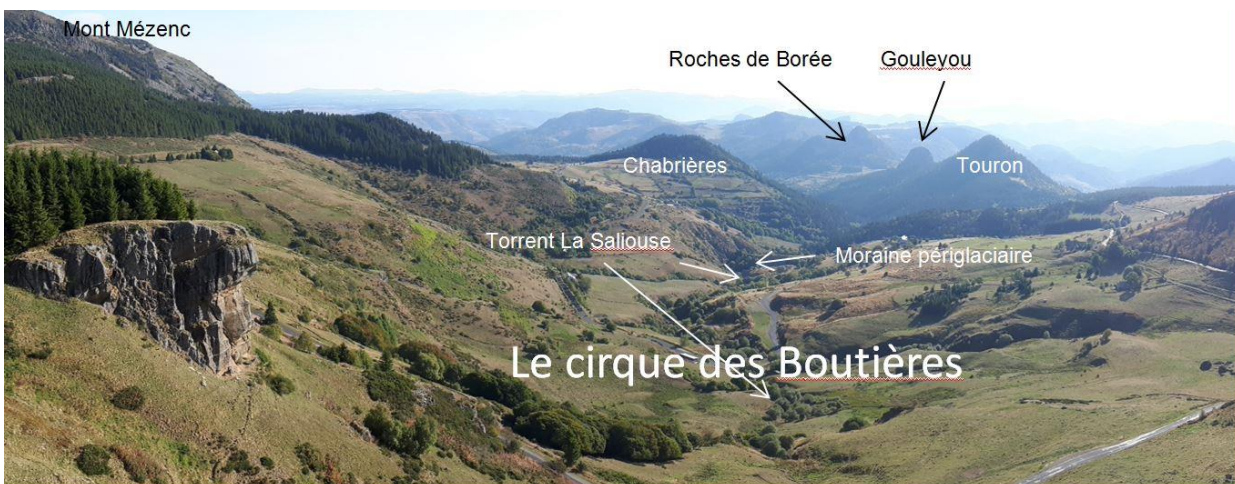


Figure 2. Les Boutières. Le cliché est pris vers l'est depuis les Rochers des Cuzets (1 551 m) qui dominent le cirque des Boutières. Au premier plan, à gauche, quelques vestiges de formations volcaniques de ce qui constituait le stratovolcan des Boutières complètement éventré et érodé. (Photo D. Levert).

Contrairement aux stratovolcans, les édifices monogéniques sont le résultat d'une seule éruption. Ils sont représentés en France par les volcans de la Chaîne des Puys qui comprennent une série d'édifices juxtaposés et indépendants ; il en existe aussi de nombreux dans le Velay.

### Les Boutières, un stratovolcan ? Où est passé le volcan ?

On conçoit donc que l'histoire des stratovolcans peut être difficile à reconstituer ; c'est le cas pour celui des Boutières, car, sur place, on constate qu'à l'emplacement de ce volcan il n'y a plus guère qu'un grand vide (figure 2).

Heureusement quelques importants vestiges vont nous guider dans notre tentative de compréhension de son histoire. Un peu plus loin, des reliefs bien individualisés nous seront des repères précieux également.

## Le socle, les failles, et le volcanisme

### Le dôme granitique du Velay

Le socle fait partie des dernières formations granitiques de l'ère primaire. Formé au Stéphanien, entre – 305 et – 300 Ma, dernier stade de fusion de la croûte terrestre dans le Massif central, il occupe une grande partie du département de Haute-Loire et déborde sur les départements voisins (figure 3).

C'est un vaste batholite à bords diffus, formé à partir de roches préexistantes (ici des gneiss et des mica-schistes) au sein de la croûte terrestre. Il est appelé « granite d'anatexie » car il s'est formé par fusion partielle à haute température et basse pression (voir *Géochronique* n° 136, 2015), à la faveur d'anomalies thermiques lors de collisions continentales. Ce granite est très hétérogène, il renferme de nombreuses enclaves de gneiss qui n'a pas fondu. Il est qualifié d'autochtone ce qui signifie que le liquide magmatique s'est peu séparé du résidu solide. Par comparaison, le massif voisin de Margeride, le plus grand batholite granitique français (– 320 Ma) dont nous avons vu un affleurement à grands cristaux d'orthose, dits à dents de cheval, lors de notre excursion dans le Devès en 2012, est un massif granitique intrusif bien plus homogène et bien délimité.

Les granites qui se forment tous en profondeur n'apparaissent en surface que par l'action de l'érosion et de mouvements tectoniques éventuels. Dès la fin de l'ère primaire, au Permien, ce socle granitique du Massif central a été réduit en une pénéplaine.

Au début du Tertiaire, il a été morcelé par le rejeu des failles préexistantes lors des orogénèses pyrénéenne et alpine, par exemple la grande faille du sillon houiller. Ces failles ont deux directions principales : NO-SE, soit N135-140 (direction varisque), et SO-NE, soit N45-50°, très présentes dans la partie orientale du Massif central, et dans le Velay en particulier.

Le volcan des Boutières est situé dans cette zone qui a été très bousculée par l'orogénèse alpine : l'affrontement des plaques lithosphériques africaine et eurasiatique a réactivé ces failles hercyniennes à l'Éocène en exerçant une compression de direction NE, puis plus tard NO.

À l'Oligocène, s'est mise en place une tectonique extensive que l'on considère comme un phénomène de relaxation des tensions le long de failles nord-sud. C'est à cette période que se sont formées les fosses du rift européen depuis la Hollande jusqu'à la Méditerranée et, parmi elles, le grand fossé de Limagne et les bassins du Puy et de l'Emblavès.

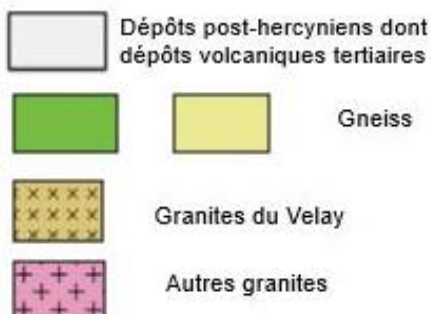
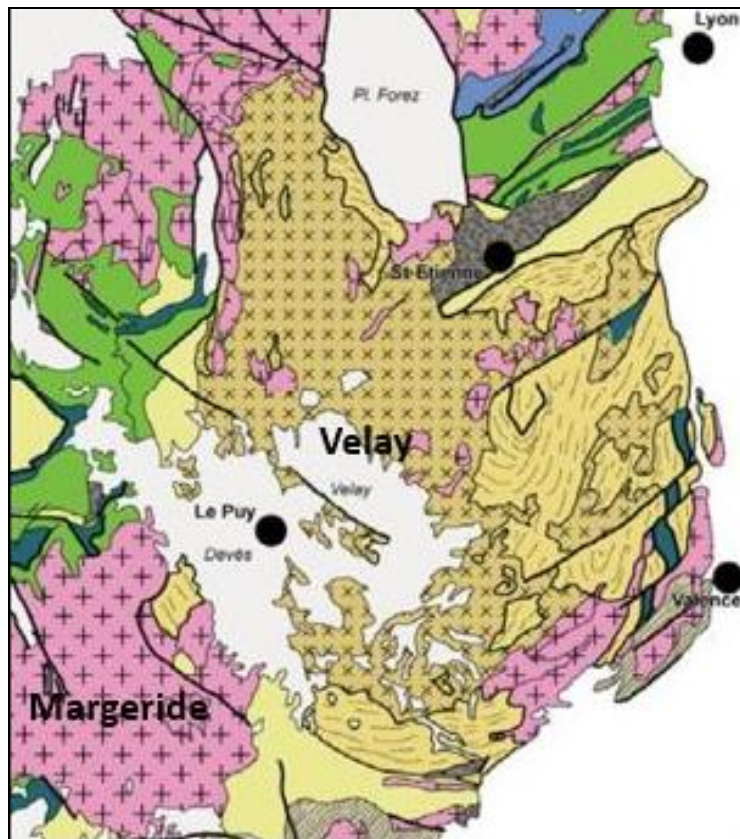


Figure 3. Carte géologique de l'est du Massif central montrant les principaux massifs granitiques. (D'après carte géologique à 1/1 000 000).

Au Miocène supérieur, les bordures est et sud-est du Massif central ont basculé et ont été soulevées d'un millier de mètres, et même davantage. Ce phénomène a produit ou réactivé de nombreuses fractures et déformations qui ont induit le volcanisme de cette région, commencé il y a 12 Ma pour se terminer il y a 6 à 7 Ma, avant que le volcanisme récent Plio-Pléistocène ne s'exprime (volcanisme du Vivarais : maar de Borée-Échamps). Les laves de la région des Boutières présentent une différenciation marquée débutant par des basaltes (hawaiiites) pour aboutir à des phonolites, ce qui fait l'originalité de ce volcanisme.

Des études sismiques et gravimétriques ont montré que la lithosphère est amincie sous les régions volcaniques et les fossés d'effondrement oligocènes du Massif central, et que le flux de chaleur y est supérieur de plus de 50 % à celui des zones environnantes. Cette anomalie thermique est souvent interprétée comme une remontée de l'asthénosphère sous la croûte terrestre (hypothèse du diapir homogène) ; ces éléments seraient plus chauds et moins denses que la croûte. Mais ce modèle ne semble pas vérifié dans le Velay oriental où, d'après des analyses géochimiques ponctuelles, le manteau supérieur serait en fait hétérogène. Ceci amène donc à rechercher un complément d'explication.

**La fosse du Velay  
et le graben des Boutières**

La fosse du Velay est de direction N135 ; elle est divisée en deux parties par le horst granitique de Chaspinhac très étiré dans cette direction (18 km sur 4 km de largeur) : le bassin du Puy à l'ouest, occupé depuis sa formation par un lac dans lequel se sont accumulés des sédiments, et le graben de l'Emblavès à l'est. Des failles perpendiculaires à cette direction (N45) hachent le socle du Velay oriental et cloisonnent ces fossés, ainsi que le horst de Chaspinhac lui-même, en petites unités formant une sorte de damier (touches de piano). L'exact prolongement du graben du Puy est difficile à retrouver puisque les abondantes émissions volcaniques du Meygal et du Mézenc masquent ces failles, mais le graben des Boutières, qui se trouve à l'extrémité sud-ouest du système de failles du Velay, est considéré comme le prolongement de celui du Puy ; il est limité au sud-ouest par la faille du Gerbier-de-Jonc et au nord-est par la linéation axiale, un ensemble de failles de direction générale N45 qui passe par Saint-Pierre-Eynac et se prolonge au-delà de Chaudeyrolles vers le sud.

Le graben des Boutières ne comporte pas de sédiments, cette absence pouvant être liée en partie à l'érosion intense à laquelle les Boutières ont été soumises. De plus, ce graben est basculé vers le nord-est (P. Brotte & E. Defive, Cahiers du Mézenc n° 7, 1995). C'est dans ce contexte que se situe le cirque des Boutières constitué par les vestiges du stratovolcan, tandis qu'en contrebas des Rochers des Cuzets

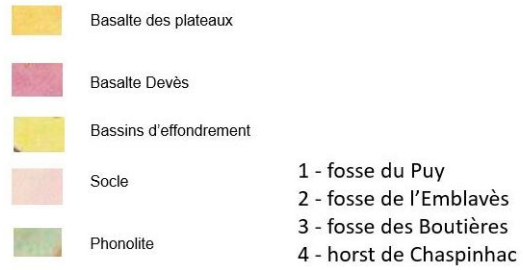
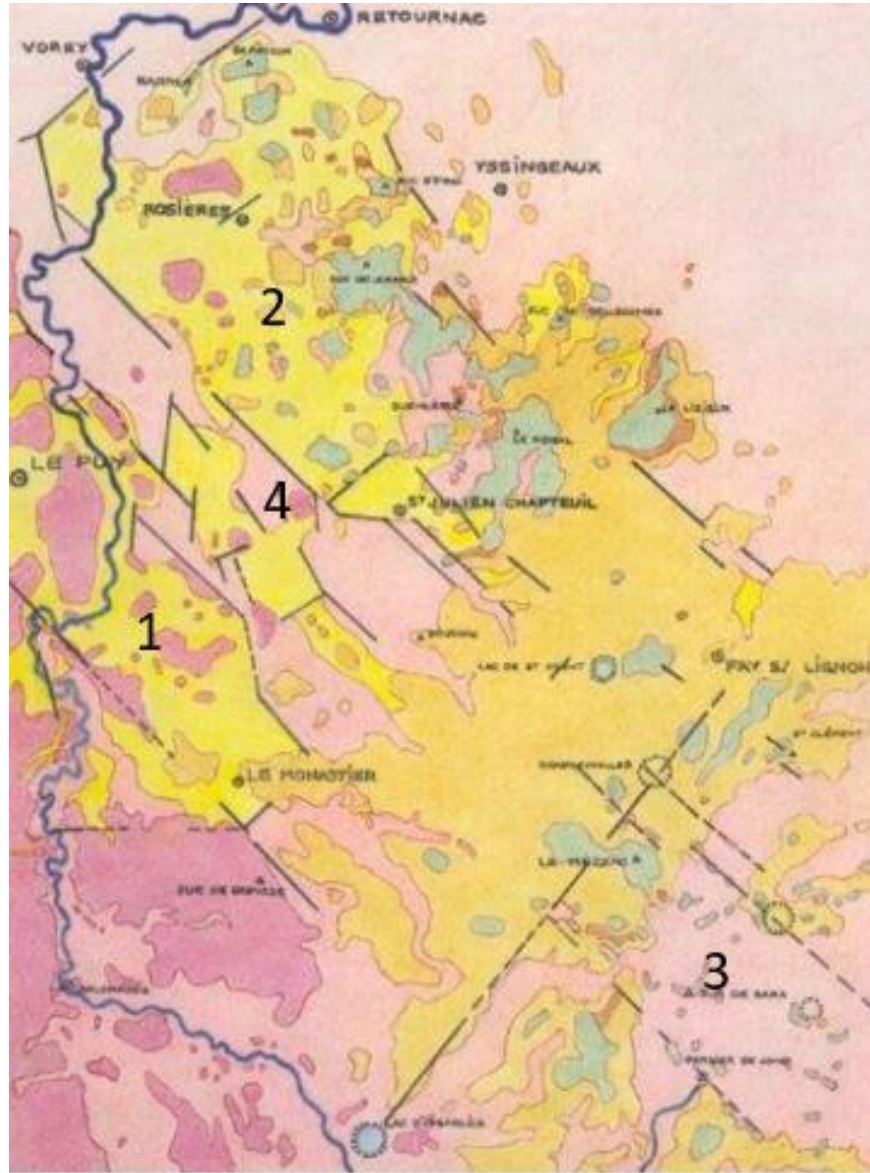


Figure 4. Les principales failles et les fossés d'effondrement du Velay oriental. Les fossés d'effondrement de l'Emblavès et des Boutières, délimités par des failles, sont hérissés de suc de phonolite. (D'après un document de J. Cabrol).

pointent les aiguilles de protrusion et les intrusions phonolitiques dans le socle. Ces derniers s'alignent parfaitement le long de certaines failles en un volcanisme dispersé. Sa position topologique est représentée dans la figure 4.

Dans la région du Mézenc et des Boutières, le volcanisme a provoqué, selon le géologue britannique S. Hodges, une surélévation de ces terrains primaires de plus de 300 m par la formation et le gonflement d'une vaste chambre magmatique. Ce qui expliquerait que les nombreuses rivières qui prennent naissance au pied du Mézenc et des Boutières, dans le dôme granitique, se dirigent soit vers le bassin de la Loire, soit vers celui du Rhône, suivant la direction de failles anciennes (figure 5).

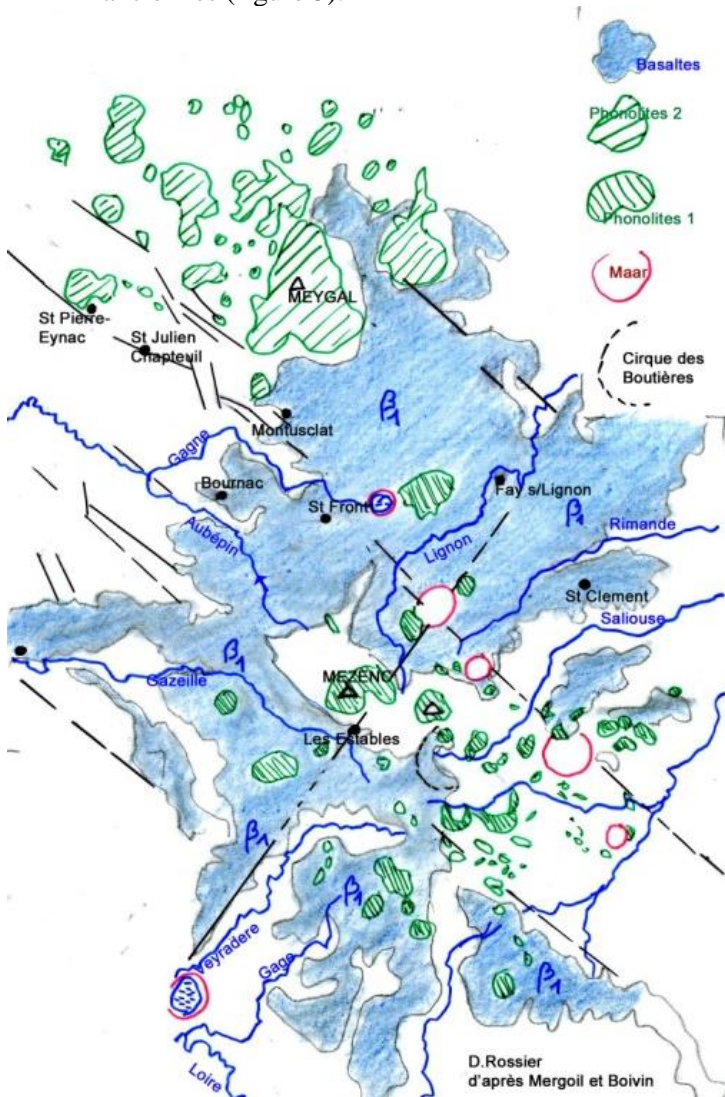


Figure 5. Ligne de partage des eaux vers la Loire ou vers le Rhône dans la région des Hautes-Boutières-Mézenc. Cette ligne virtuelle est proche d'une grande faille de direction N35 passant par Les Estables, le Mézenc, Chaudeyrolles et Fay/Lignon (dessin de D. Rossier à partir de la carte géologique à 1/100 000°).  
Les principaux cours d'eau sont, vers la Loire : le Gage, la Veyraderre, la Gazeille, l'Aubépin, la Cagne ; vers le Rhône : l'Eysse, la Salieuse, la Rimande, le Lignon.  
En bleu : basalte ; en vert : phonolite.

Nous verrons que ces torrents, avec d'autres agents d'érosion, ont été à l'origine d'un énorme décapage qui a conduit à l'aspect actuel du site.

### Des Estables au pays des Boutières : une opposition géomorphologique

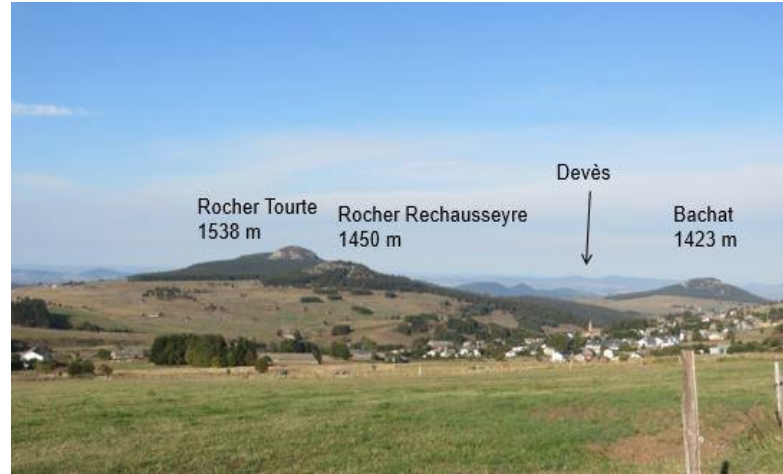


Figure 6. Le village des Estables et son environnement. (Photo J. Grisey).

Le village des Estables, niché sur le plateau basalte du Velay oriental en pente douce vers l'ouest (figure 6), se situe sur le versant nord de la vallée de la Gazeille (affluent de la Loire qui prend sa source au pied des Boutières), à l'emplacement d'un maar révélé par sondage (Casimir Cortial) et aujourd'hui comblé. Dans le paysage, toujours vers l'ouest, pointent deux cônes de phonolite/trachyte : le Rocher Tourte et la Roche du Bachat. Tous les cours d'eau de ce plateau (figure 5) appartiennent au bassin versant de la



Figure 7. Vue depuis les Estables, vers le nord-est. Au premier plan, muret de pierres sèches. On en retrouve un peu partout en bordure des parcelles, vestige du travail d'épierrement par des générations d'agriculteurs. (Photo R. Mahéroul).

Loire qui coule, vers le nord, dans le bassin d’effondre d’effondrement du Puy-en-Velay. Au-delà, à l’horizon, se découpe le plateau du Devès.

Vers le nord et l’est, l’horizon est marqué d’une ligne de crêtes boisées d’où émerge le sommet phonolitique du massif du Mézenc, point culminant du Velay oriental (1 756 m) et de tout l’est du Massif central. Après les Estables, la route s’élève doucement au milieu de prairies naturelles dédiées à l’élevage bovin avec, de temps à autre, les bâtiments d’une ferme isolée (figure 7).

En quelques minutes, cette route rejoint la Croix des Boutières sur la ligne de partage des eaux : bassin versant de la Loire et Atlantique à l’ouest, bassin versant du Rhône et Méditerranée vers l’est (figure 5).

Et là, changement total de décor : un brusque et raide escarpement rompt le plateau basaltique et révèle un paysage profondément disséqué, parsemé d’une série de dômes phonolitiques, les « Sucs », qui pointent entre des vallées très encaissées aux pentes raides et le plus souvent boisées (figure 2).

On peut faire là une première remarque : sur le versant atlantique, les Sucs ont traversé le socle, percé la couverture basaltique et dominant le plateau. Ici, ils apparaissent en contrebas, révélés ou dégagés par

recouvert de formations superficielles de natures diverses, peu épaisses. Les Rochers des Cuzets dominent d’environ 200 m une vaste zone de replats et de pentes plus faibles occupées par des prairies naturelles : c’est le Cirque des Boutières.

Une carte du relief (figure 9) illustre bien le contraste saisissant entre ces deux versants. Comment expliquer la morphologie actuelle des Boutières ?

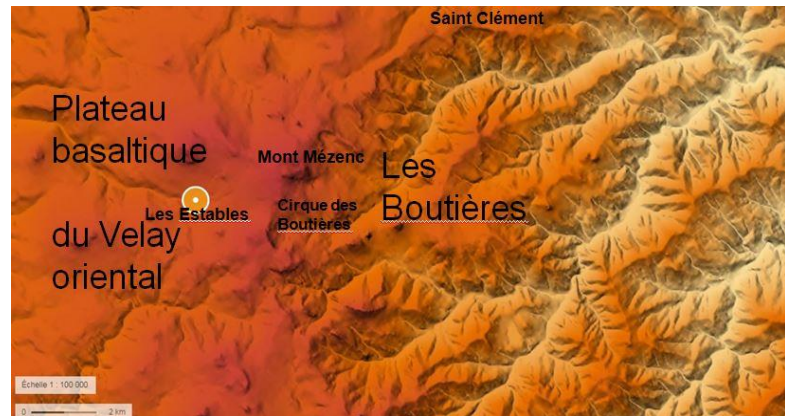


Figure 9. Carte du relief des Boutières montrant le contraste entre les deux versants (Géoportail).

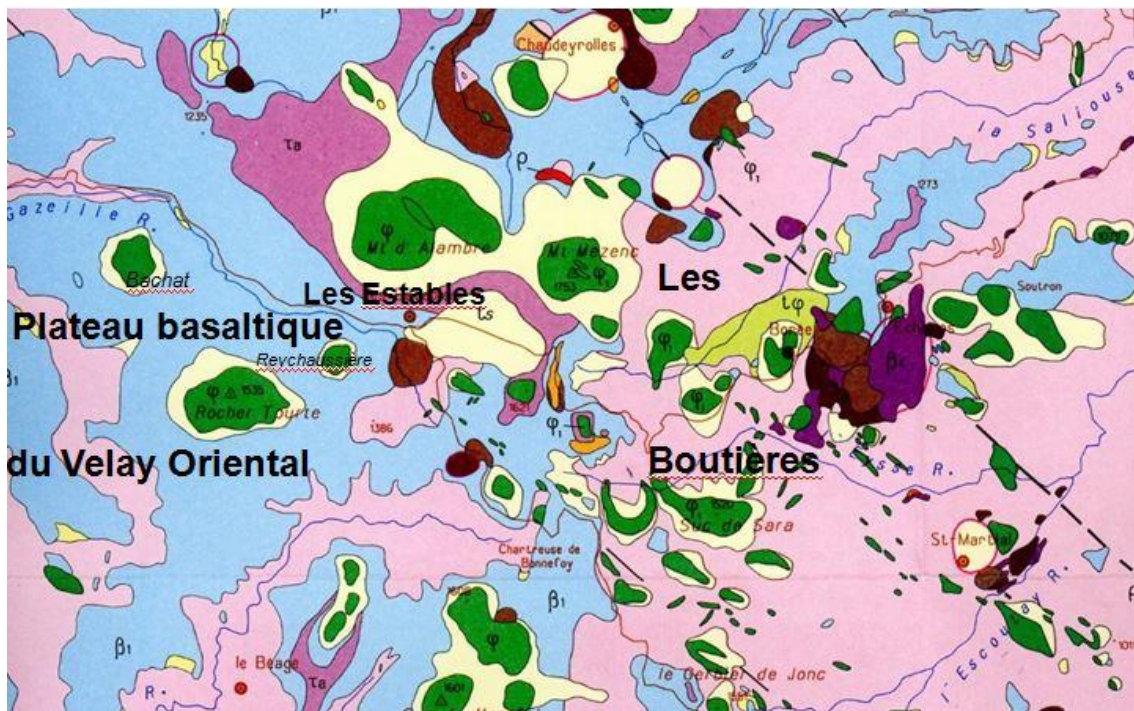


Figure 8. Basaltes des plateaux : zones bleues. Socle : zones roses. Trachytes et phonolites : zones vertes. Formations de versant : zones jaunes. Maars : cercles rouges le long de la linéation axiale. Carte géologique à 1/100 000°. Mergoil et Boivin.

l’érosion (cf. figure 2) : dans ce pays des Boutières, les formations volcaniques des plateaux ont presque totalement disparu et, comme le montre la carte géologique (figure 8), le socle granitique réapparaît,

La figure 10 (page suivante) rappelle les grands traits de l’histoire géologique de la région.

Après les mouvements tectoniques de l’Oligocène et du Moicène et le soulèvement du Velay oriental, le graben des Boutières subit une vigoureuse érosion qui attaque sa couverture basaltique.

Plus tard, les intrusions phonolitiques dans le socle déjà fracturé, et au travers des coulées déjà en place, ont sans doute

également fragilisé l’ensemble et favorisé cette érosion.

Puis, vers – 6 Ma, intervient la crise messinienne qui voit la Méditerranée s’assécher et les tributaires du Rhône, par voie de conséquence, s’enfoncer dans les reliefs. Le réseau hydrographique des Boutières s’est alors transformé en régime torrentiel, créant des entailles profondes de faible extension latérale et s’attaquant vigoureusement aux reliefs amont surélevés :

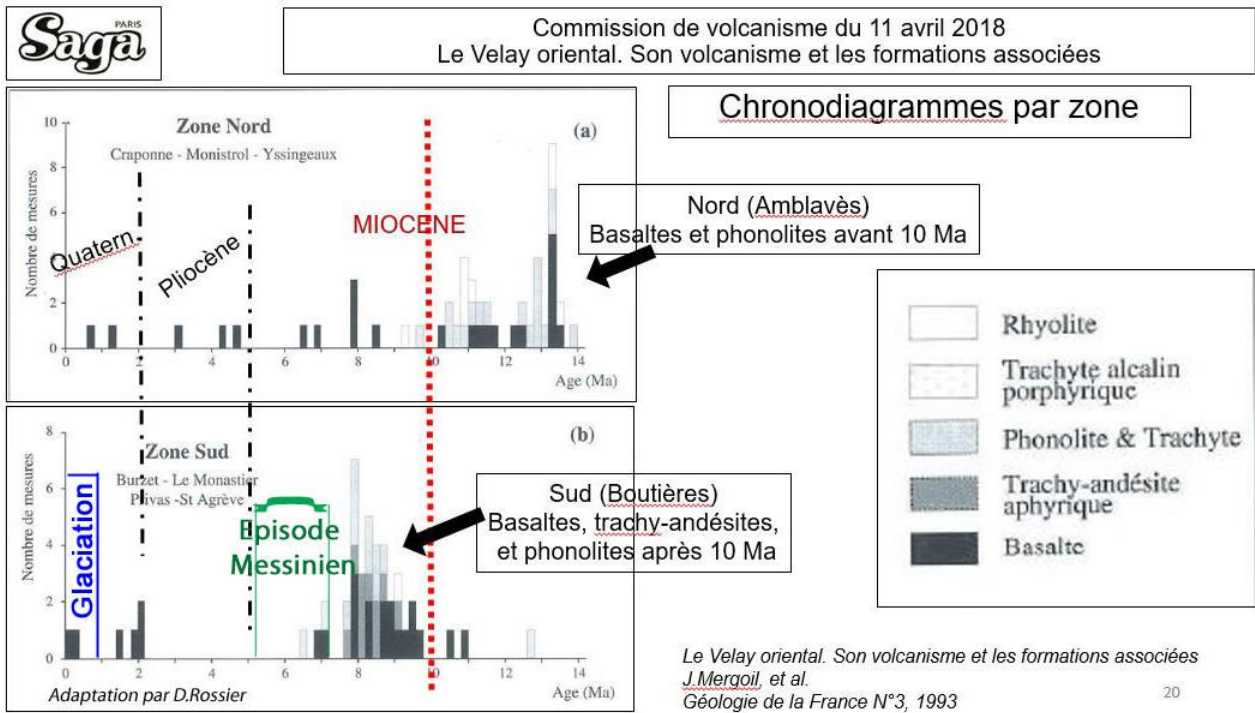


Figure 10. Chronodatations pour le Velay oriental. (Livret de la carte géologique à 1/100 000<sup>e</sup>, adaptation D. Rossier).

ce phénomène de type « érosion régressive » est la réponse d'un cours d'eau qui tend à trouver un profil d'équilibre par atténuation de la pente en s'attaquant à la partie amont de son cours.

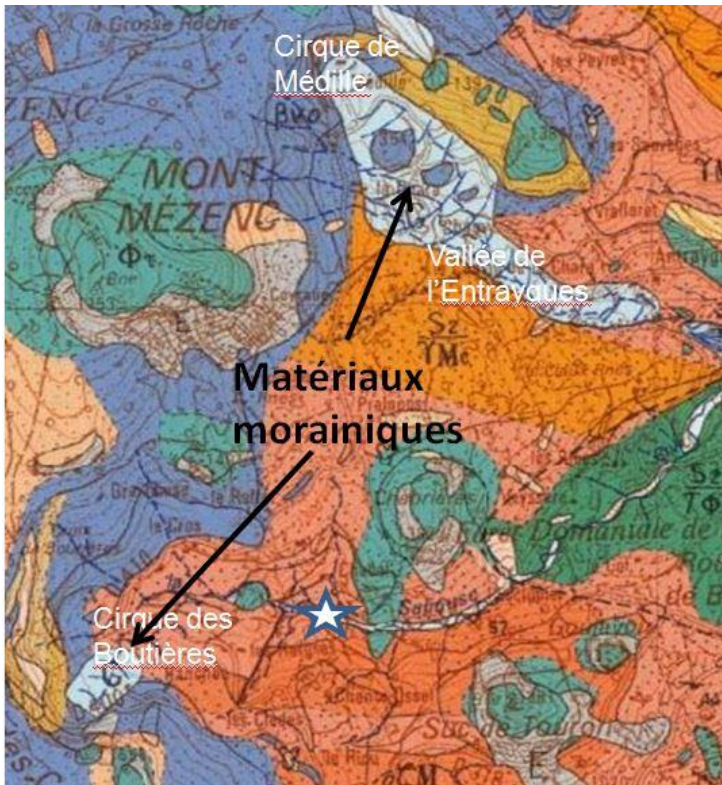


Figure 11. Formations morainiques. L'étoile blanche repère approximativement la moraine frontale de la figure 12. D'après la carte géologique à 1/50 000<sup>e</sup>, n° 816, Monastier-sur-Gazeille

Enfin, entre – 2 Ma et aujourd'hui, se sont succédés plusieurs changements climatiques : périodes glaciaires et interglaciaires.

La carte géologique (figure 11) montre des moutonnements caractéristiques d'affleurements morainiques dans la vallée de l'Entraygues, en aval du cirque de Médille, témoins de la présence d'un petit glacier ou d'un névé important. D'autre part, dans le cirque des Boutières, la figure 12 montre des dépôts et la morphologie d'une moraine frontale incisée par la Saliouse. En dehors de ces deux secteurs, il n'y a pas d'indicateurs de la présence d'un glacier recouvrant la région plutôt située en zone périglaciaire. Mais, compte tenu de la topographie des Boutières, les alternances gel/dégel se sont révélées très efficaces dans l'altération et l'érosion des formations volcaniques, des bassins versants et des talwegs des torrents.

Aujourd'hui encore, l'érosion est à l'œuvre. La situation de moyenne montagne du Velay oriental génère des hivers souvent longs et rigoureux (enneigement de 4 à 5 mois et températures moyennes annuelles voisines de 6 °C aux Estables).

À l'automne, l'influence méditerranéenne se traduit par des « épisodes cévenols » de fortes précipitations pouvant provoquer des crues dévastatrices.

La carte géologique (figure 8) montre trois types principaux de roches en place : le socle granitique, les pointements phonolitiques et les coulées des plateaux. Trois sites d'observation des paysages dans ce secteur permettent de tenter d'expliquer leur évolution et leur morphologie actuelle.



Figure 12. La moraine frontale (flèche blanche). Remarquer également sur les versants pentus, la présence de murets arborés, témoins de l'épierrement des parcelles (culture en espaliers). (Photo D. Rossier prise au printemps lors de la reconnaissance).

**1. Le socle granitique** : au centre de la figure 2, les prairies qui occupent les replats et les pentes les plus faibles reposent sur ce socle. Le long des diaclases et des fractures du granite, l'eau chargée en CO<sub>2</sub> altère les minéraux les moins résistants (plagioclases, biotite). Le granite se désagrège pour former une arène que l'érosion dégage facilement, ce qui nous donne ces paysages au relief mollement ondulé, incisé de ravines encaissées. Au niveau des talwegs des torrents, l'érosion fluviale plus agressive creuse des vallées en forme de V.

**2. La phonolite** est issue du refroidissement d'une lave très visqueuse. Lors de sa remontée dans la cheminée, les tablettes de feldspath qui la composent majoritairement s'orientent dans le même sens, lui donnant une structure fluidale à l'origine de son débit

en lauzes (voir chapitre Pétrologie). Lors du refroidissement, la lave se rétracte et des fractures (fentes de retrait) apparaissent. Ces deux phénomènes rendent la phonolite très sensible à l'alternance gel/dégel et sont à l'origine des grands éboulis (appelés localement « clapiers ») autour des sucus phonolitiques des Boutières (figure 13).



Figure 13. Éboulis de blocs de phonolite sur le versant du Touron (photo J.-L. Fromont).

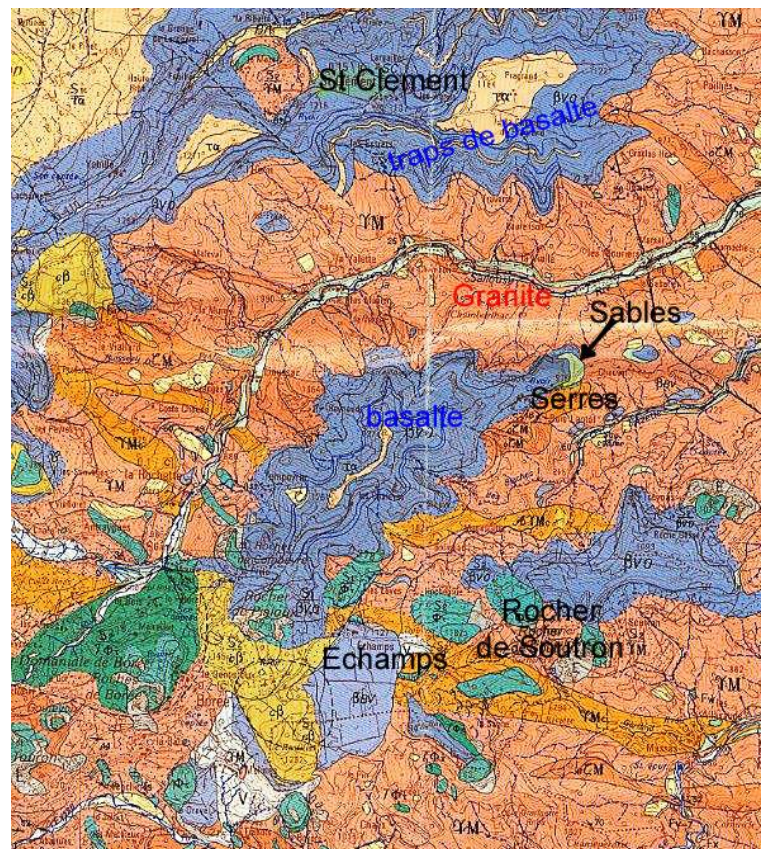


Figure 14. Les plateaux basaltiques de Saint-Clément et de Serres. Extrait carte géologique à 1/50 000° n° 816, Monastier-sur-Gazeille, modifié D. Rossier.



Figure 15. Le plateau basaltique de Serres, avec une carrière de sable, vestige de dépôts fluviaux sur la pénéplaine ante-volcanique (flèche blanche).  
(Photo D. Rossier, prise depuis Saint-Clément).

**3. Les coulées des plateaux :** si la phonolite, de par sa richesse en silice, est une roche peu sensible à l'altération météoritique, il en va tout autrement des basaltes des coulées des plateaux. En face de Saint-Clément subsiste le plateau de Serres également constitué de coulées (figures 14 et 15).

À l'origine, ces deux plateaux faisaient partie d'un même ensemble : partout ailleurs dans les Boutières, les coulées, dont nous avons vu qu'elles sont bien préservées sur le versant atlantique du Velay, ont disparu, révélant le socle granitique et déchaussant les sucus phonolitiques. À Saint-Clément (1 150 m), douze coulées de lave se sont empilées pour constituer un plateau aujourd'hui perché au-dessus du torrent de la Saliouse qui coule à 770 m, soit quelque 400 m en contrebas : les coulées de la base (les plus anciennes)

sont basaltiques, les plus récentes, peu épaisses, sont plus évoluées (trachyandésites, datées de - 8,6 à - 7,5 Ma). Leur empilement y est particulièrement bien visible, grâce à l'érosion torrentielle de la Saliouse, qui en fait une véritable « coupe ».

Les versants de la vallée de la Saliouse montrent ici deux parties bien distinctes :

**1,** la partie supérieure, depuis Saint-Clément jusqu'à la base de la première coulée (920 m), soit sur environ 200 m d'épaisseur, présente l'aspect de « marches d'escalier » ; l'érosion a sculpté les coulées en ménageant à la base de certaines d'entre elles des replats plus ou moins larges ;

**2,** la partie inférieure, entre la première coulée et le torrent, montre d'abord un large replat sur lequel des hameaux se sont installés (présence de nombreuses sources au contact coulées et socle granitique imperméable, zone favorable à l'implantation de prairies naturelles), puis, sous ce replat jusqu'à son talweg, la Saliouse s'est profondément encaissée dans le socle granitique, formant une vallée en V).

Ces observations illustrent bien les différences des comportements des roches face à l'érosion. La structure des coulées, avec brèche basale, vraie et fausse colonnade, entablement, constitue autant de zones de fragilisation. Le démantèlement par gravité des colonnades et entable-

ment, le déblayage des brèches basales, la fracturation par l'alternance gel/dégel provoquent le recul des



Figure 16. Vallée de la Saliouse entre Saint-Clément et le plateau de Serres. (Photo J.-L Fromont).

coulées au fur et à mesure de l'enfoncement du niveau de base du torrent la Saliouse : c'est le phénomène de l'érosion régressive déjà évoqué plus haut. Les basaltes comme les granites sont aussi sensibles à l'altération comme le montre la figure 17 prise dans la carrière de Bournac. Nous en déduisons donc que, en dehors de ces vestiges, une formidable érosion a emporté la plus grande partie du plateau basaltique, favorisée par la dissolution chimique de l'eau qui s'exerce à long terme.



Figure 17. Altération en boules des prismes basaltiques de la carrière de Bournac (photo J.-L. Fromont).

Dans les « Cahiers du Mézenc », un schéma d'Emmanuelle Defive (figure 18) propose une reconstitution de l'évolution du relief depuis le Miocène jusqu'à nos jours.

La géomorphologie du pays des Boutières témoigne donc d'une histoire mouvementée qui mêle volcanisme, tectonique périalpine et vigoureuses altération et érosion des reliefs du versant rhodanien du Velay oriental.

### Le maar de Borée-Échamps : une exception !

Datant du quaternaire, le volcanisme de la zone de Borée-Échamps (figure 19) a échappé à ce démantèlement et montre une grande fraîcheur. À cet endroit, se sont succédé plusieurs phases éruptives très lisibles dans le paysage :

1, la carrière de Molines, située au sud du maar, montre les dépôts caractéristiques de l'épisode phréatomagmatique ; la carrière est ouverte perpendiculairement aux dépôts de la déferlante basale qui a formé l'anneau de tuf (figure 20) ;

2, après la fin de cet épisode, en l'absence d'eau, l'activité volcanique se poursuit sous la forme

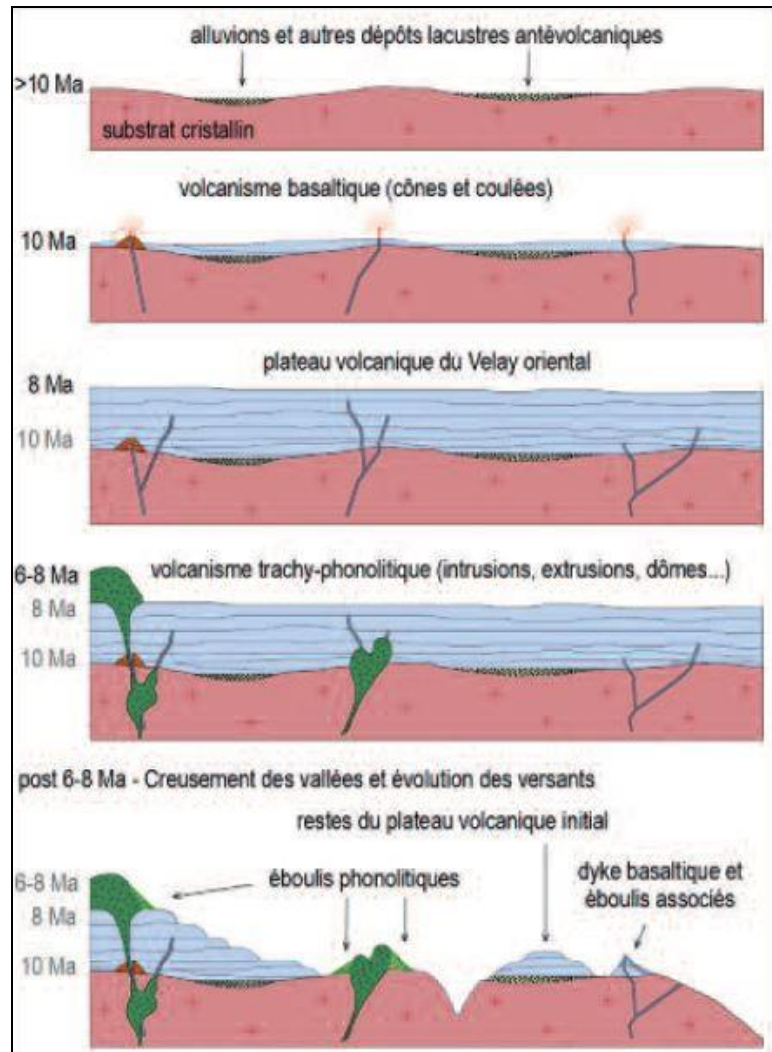


Figure 18. Évolution du relief dans les Boutières. (D'après E. Defive, les Cahiers du Mézenc n° 12).



Figure 19. Le maar de Borée-Échamps. Prairies naturelles sur le lac de lave qui a comblé le maar de Borée-Échamps. (Voir situation géographique figure 14). (Photo D. Rossier prise au printemps lors de la reconnaissance).



Figure 20. La carrière de Molines en bordure du maar de Borée-Échamps. La flèche rouge (en haut, au centre) indique la direction de la déferlante basale (photo D. Rossier).

d'éruptions de type strombolien ; sur le rebord sud-est du maar, s'édifie un ou plusieurs cônes. Des dépôts de cendres, lapilli et brèches recouvrent l'anneau de tuf de la carrière (figure 21).



Figure 21. Dépôts stromboliens reposant sur l'anneau de tuf de la carrière de Molines (photo D. Rossier).

3, plus tard, d'importantes coulées de lave issues de ces mêmes volcans stromboliens viennent enfin combler le maar et déborder vers les vallées de l'Azette et de l'Eysse.

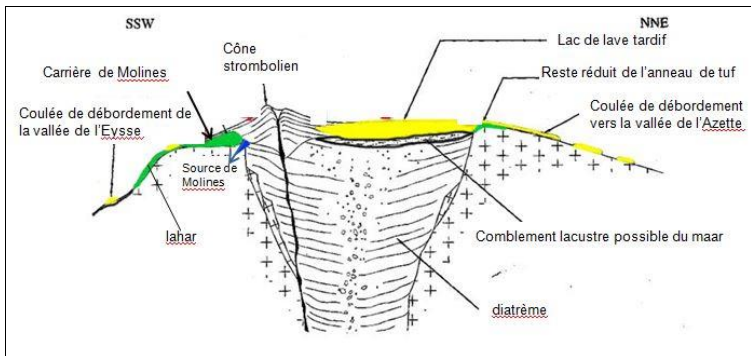


Figure 22. Schéma du maar de Borée-Échamps (d'après Mergoil et Boivin).

## Le cirque des Boutières et les Rochers des Cuzets

À la croix des Boutières (1 506 m), nous prenons un sentier qui suit la ligne de crête vers le sud ; il nous mène à un surplomb du cirque. De là, aucun obstacle ne vient occulter un panorama qui s'étend jusqu'aux Préalpes enveloppées de brume. À nos pieds, près de 200 m plus bas, c'est le replat du cône volcanique qui se prolonge vers l'est par les reliefs volcaniques de phonolite, jusqu'au village de Borée et au-delà. Le rebord du volcan où nous sommes est délimité par les Rochers des Cuzets qui forment un vaste croissant sur tout l'ouest et le sud du cirque.



Figure 23. Sol palagonitisé (au premier plan) aux Rochers des Cuzets, partie nord (photo F. Audubert).

On remarque d'abord le sol de couleur jaunâtre sur lequel nous marchons. C'est un tuf, produit du volcanisme hydromagmatique ; il comporte d'abondants lapilli de mugéarite vésiculaire dans un ciment de cendres palagonitisées (voir palagonite, chapitre Pétrologie). Il n'y a pas de traces de l'encaissant granitique, on peut en déduire que ce volcanisme est de nature surtseyenne. Cette formation est présente tout autour du cirque où elle devait former un anneau de 60 à 80 m d'épaisseur. On en déduit qu'il y a eu pendant l'activité du volcan une tranche d'eau importante et continue pendant certaines périodes pour permettre ce type de volcanisme. Mais on ne sait pas sous quelle forme : présence d'un lac (il existe des formations argileuses au fond du cirque) ? Peut-être celle d'une couverture neigeuse ou celle d'un glacier en bonne partie fondu en eau ? Mais le climat du Miocène était tempéré, voire méditerranéen. Les projections de surtseyen ont une disposition stratifiée très marquée ; les couches montrent des lits de lapilli d'épaisseur décroissante vers le haut ; elles comprennent aussi des bombes scoriacées aplaties (bouses de vaches). Le pendage des couches,

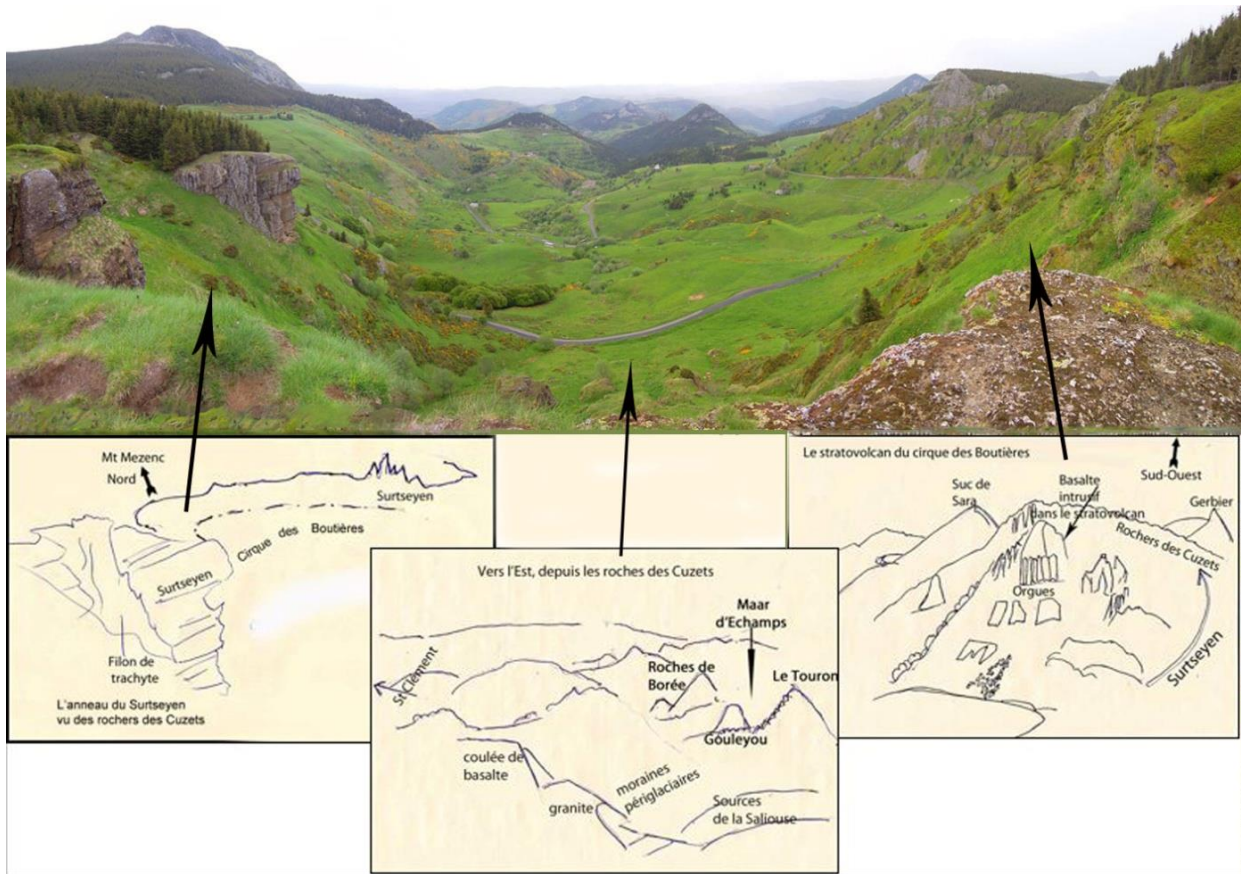


Figure 24. Interprétation du panorama aux Rochers des Cuzets (photo et croquis D. Rossier).

très apparent en certains endroits, est à 30 degrés vers l'extérieur du centre du cirque. Celui-ci, dans son ensemble, donne l'image d'un cône très surbaissé d'un à deux kilomètres de diamètre. D'autres éléments de morphologie de l'édifice sont visibles : vers le nord, un épais filon de trachyte traverse toute l'épaisseur du surtseyen (figure 24).

Vers le sud-ouest, au-dessus de la ferme de Ranchon, le volcan est traversé par du basalte intrusif prismé dans sa partie inférieure. La route D400, qui suit le flanc interne du cirque, permet d'atteindre les parties basses des formations, ce qui a été effectué par l'équipe de préparation de cette excursion. On y longe d'abord la palagonite, et dans le bas on observe un affleurement de tufs bréchiques rougeâtres indicateurs d'une activité strombolienne précoce du volcan. Des scories rouges du même type (stromboliennes) ont également été remarquées par endroits au-dessus des tufs palagonitisés, ce qui indique que des phases stromboliennes ont encadré des épisodes surtseyens. Plus loin, en direction du carrefour de la D410, la route est dominée par l'énorme masse des Rochers de Cuzet qui constituent là le point le plus élevé du cirque à 1 558 m (figure 25).

Une coupe des terrains effectuée par les géologues M. Prévot et G. B. Dalrymple (voir bibliographie) a montré l'existence d'une série de coulées de lave à

différenciation croissante vers le haut : basaltiques à la base (basanites à argilites, puis hawaiiites) surmontées par des trachyandésites : mugéarite et finalement benmoréite.

Des blocs parsèment la prairie à la base : brèches à lapilli cimentées de cendres palagonitisées qui ont été utilisées largement dans les constructions locales,



Figure 25. Sous la falaise des Rochers de Cuzet (photo D. Rossier).

dont l'église de Saint-Clément. Les coulées sont imbriquées dans l'anneau de tuf, le traversant sous forme de dykes. L'un d'eux (mugéarite) vertical, de direction nord-sud, est daté de - 8,6 Ma. Ces dykes montrent que la falaise de tufs a subi des fracturations en particulier dans ce secteur sud. Les laves sommitales sont des phonolites datées de - 7 Ma. Dans cette même zone, à l'angle du cirque, des vestiges témoignent d'une activité de type maar : projections phréato-magmatiques en déferlantes basales, avec une abondance de fragments provenant du socle. Le début de l'activité volcanique du cirque est probablement lié à une activité strombolienne et /ou à cette activité de maar.

Le long de la D400, au niveau d'une borne Michelin à l'altitude de 1 438 m, se trouve un affleurement de roche massive constituée de tuf rouge bréchiq, bulleux, à chabazite (figure 26).



Figure 26. Échantillons de tuf rouge bréchiq à chabazite, vérifiée en lame mince (photo D. Rossier).

Ce minéral est une zéolite présente dans les cavités sous forme de cristaux blancs millimétriques. C'est un tectosilicate issu de l'activité volcanique (altération de plagioclases des tufs, voir au chapitre Pétrologie), ou produit d'un métamorphisme de très basse intensité. Les minéraux de ce type sont microporeux et utilisés pour cette raison comme « tamis moléculaires » dans la séquestration de l'eau, d'ions ou de molécules, et comme catalyseurs en pétrochimie. Parmi la cinquantaine de zéolites naturelles connues, les chabazites constituent elles-mêmes une famille comprenant plusieurs variétés à Na, K, Ca, ou Sr.

Au total, le volcanisme du cirque des Boutières s'est donc manifesté sous diverses formes et a produit des laves différentes : coulées de basaltes associées à des épisodes stromboliens dont il existe plusieurs niveaux, des vestiges de maar, des intrusions sous

forme de dykes, des protrusions de phonolite. La carte géologique nous montre quatre zones d'éruptions phonolitiques dans le cirque ou à proximité immédiate : au sud des Rochers des Cuzets, à l'ouest, Chaullet, 1 622 m, au nord le Grandoulet, 1 490 m (voir figure 8) et à l'est un petit volcan de 150 m de diamètre avant le Suc de Chabrières.

Plusieurs bouches volcaniques ont fonctionné, mais autour d'un grand cône central, le tout sur plus de 4 Ma. Tout cela correspond, malgré l'érosion intense et la déformation du peu de vestiges encore visibles, aux caractéristiques d'un stratovolcan qui garde encore une grande partie de son mystère.

**Ndlr.** Dans un prochain *Saga Information*, nous publierons la suite de cet excellent compte rendu de voyage de la Commission de volcanisme dans le Velay oriental. Cette deuxième et dernière partie sera consacrée à l'étude de la pétrologie régionale.

### Remerciements

À Casimir Cortial, ancien président du Groupe géologique de la Haute-Loire, qui nous a guidés pendant ce voyage. Il a fait de nombreux commentaires pertinents sur la géologie locale pendant les excursions et fourni des documents, dont plusieurs inédits, aux participants.

À Alain Guillon, qui avait organisé de précédents voyages de la SAGA dans le Velay en 1999 et 2006. Il nous a fait bénéficier de sa grande connaissance de la région et de son amitié très ancienne avec le président Casimir Cortial.

À Dominique Rossier, animateur de la Commission de volcanisme de la SAGA, qui a organisé ce voyage d'étude en Velay oriental avec l'aide de Renée Serre, de Danièle Piaux et d'Yves Grimault. Il n'a pas ménagé ses efforts pour nous fournir une base documentaire très fournie avant le voyage, et de nombreuses photographies et documents pendant la rédaction de ce rapport. Il a relu et corrigé ce texte.

### À propos de la chabazite

Chabazite est la déformation du mot *chabasie* créé, en 1792, par le minéralogiste français Louis-Augustin Bosc d'Antic (1759-1828) à partir du grec *chabazios*, pierre mal définie.

Ce terme générique désigne une série de six espèces du groupe des silicates, sous-groupe des tectosilicates, de la famille des zéolites. La chabazite est la seule zéolite qui cristallise en rhomboèdres. Elle est présente en France dans le Massif central et les Pyrénées, mais les gisements qui ont fourni les meilleures cristallisations au monde se situent dans les Îles Féroé.