

LE VOLCANISME DU MASSIF CENTRAL

Notes relatives au voyage de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier à Clermont-Ferrand
Extrait du Bulletin de l'Acad. Sci. Lettres de Montpellier, tome 39, pp. 465-473.

J.P. Legros et A. Nicolas



Roches Tuilière (phonolite) et Sanadoire (trachyte). Photo Claude Robieux.

« Voulez-vous voir des volcans ? Choisissez Clermont de préférence au Vésuve et à L'Etna ! »
Signé : Léopold von Bluch (1774-1853) ; il expliquait qu'en Italie les éruptions volcaniques se recouvrent et se masquent tandis qu'à Clermont, elles s'étalent dans les plaines...

« Peu de régions au monde peuvent se flatter de posséder un ensemble volcanique aussi complet et pédagogique que la Chaîne des Puys. La diversité des édifices, leur nombre important sur une surface très limitée et accessible, la fraîcheur des morphologies, la linéarité de la chaîne et la variabilité chimique qui va des basaltes aux trachytes font de cet ensemble une formidable encyclopédie du volcanisme ». Signé : Pierre Nehlig, Pierre Boivin, Alain de Goër, Jean Mergoïl, Gaëlle Prouteau, Gérard Sustrac et Denis Thiéblemont (BRGM, 2003).

I. DECOUVERTE DES VOLCANS

C'est seulement dans la deuxième moitié du 18^{ème} siècle que l'on a compris la nature volcanique des montagnes d'Auvergne. Le courant de pensée, jusqu'alors dominant, était le « neptunisme », vision fondée par Abraham-Gottlob Werner (1749-1817), professeur à Freiberg, en Prusse. Pour lui, les couches géologiques, y compris les basaltes, résultaient de

précipitations chimiques au fond d'un océan primitif qui avait recouvert toute la Terre avant de se rétracter dans sa position actuelle. Les volcans d'Italie en activité lui semblaient des épiphénomènes. Il pensait qu'ils résultaient de la combustion locale et superficielle de couches souterraines de charbon ! Il faut dire qu'il avait peu voyagé et peut-être jamais vu de volcan actif. Mais, bon professeur et doté d'une belle voix, il était écouté...

Il fallut attendre jusqu'au début du 19^{ième} siècle, pour que les disciples de Werner, convaincus par les excursions qu'ils firent au Puy-de-Dôme, prennent conscience de ce qu'était le volcanisme et ses manifestations et donc se rallient aux précurseurs des idées nouvelles. Certains sont français :

- Jean-Etienne GUETTARD (1715-1786), géologue, minéralogiste, naturaliste, qui a vu antérieurement les volcans d'Italie, reconnaît l'existence de volcans éteints en Auvergne, lors d'une excursion, en 1751.

- Nicolas DESMARET (1725-1815), physicien, membre de l'Académie des sciences, découvre la nature volcanique du basalte en 1763. C'est fondamental pour contrer les idées de Werner.

- Déodat de DOLOMIEU (1750-1801), géologue, minéralogiste, proclame, en 1797 que les laves proviennent des « *tréfonds brûlant de la terre* » et donc pas de la combustion superficielle de charbon. C'est en l'honneur de cet homme qu'a été baptisée « dolomie » le carbonate double de calcium et magnésium, dolomite la roche correspondante et plus tard, la région italienne « Les Dolomites ».

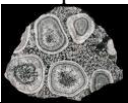
II. CLASSIFICATION DES ROCHES MAGMATIQUES

Il vaut mieux appeler « **magmatiques** » plutôt que « **éruptives** » les roches formées par le refroidissement de magmas liquides apparus en profondeur et caractérisés initialement par des températures élevées. En effet, seules les roches « **effusives** », provenant de ces magmas arrivent en surface. Les autres, les roches « **plutoniques** », se refroidissent en profondeur.

Le **granite** est l'orthotype de la roche plutonique. Comme il s'est refroidi lentement, il est totalement cristallisé, ses minéraux caractéristiques étant : quartz, micas et feldspaths. On peut parler, pour lui, de roche « cristalline ». On peut aussi déterminer l'ordre de cristallisation de ses minéraux. Ainsi, les micas et feldspaths ont-ils cristallisés d'abord, avec de belles formes, tandis que les quartz, faits de silice pure, ont cristallisés les derniers, à température plus basse, en conséquence de quoi, ils n'ont pas de formes définies et bouchent les trous.

Le **basalte** est la roche effusive la plus courante. Refroidie brutalement par sa montée en surface, il n'a pas le temps de cristalliser totalement, sinon à l'échelle macroscopique. A l'œil, il est constitué d'une pâte qui englobe quelques beaux cristaux isolés.

Le deuxième critère de différenciation et classification, au sein des roches magmatiques est la composition chimique et plus spécialement la teneur en silice (SiO₂). Le tableau qui suit, un peu trop simple pour être parfaitement juste, a cependant l'avantage de rassembler les roches les plus connues.

Roches Plutonique	GRANITE 	SYENITE 	DIORITE , ex : <i>Diorite orbiculaire de Corse du tombeau de Napoléon</i> 	GABBRO 
Roches Effusive	RHYOLITE 	TRACHYTE  ex : roche Sanadoire Trachy-andésites : Sancyite, pierre de Volvic, et Domite (ci-contre) 	ANDESITE  ex : Esterellite 	BASALTE 
	Si>68%	70>Si>65%	65>Si>53%	53>Si>44%

Principales roches magmatiques. Attention : les micro-photos ont été prises sur internet et ne sont pas propriété des auteurs. On les retrouvera facilement ainsi que les textes correspondant en tapant sur un moteur de recherche le nom de la roche après avoir sélectionné la catégorie « images ».

Dans le tableau, de gauche à droite, on trouve des roches de moins en moins riches en silice, de plus en plus riches en fer et magnésium et de plus en plus sombres. Mais le granite (plutonique) a la même composition qu'une rhyolithe (effusive). La Sancyite (Sancy) et la Domite (Puy de Dôme) sont en position intermédiaire, comme indiqué. Ce sont des trachy-andésites.

Le troisième critère de classification, au sein des roches magmatiques est la composition minéralogique, non figurée dans le tableau. Granites et rhyolites, saturées en silice, contiennent toujours du quartz. Basaltes et Gabbros n'en referment jamais. Au milieu du tableau, les deux possibilités coexistent. Ainsi, la « dacite » est-elle une « andésite contenant du quartz ». Par ailleurs, dans certaines roches, les *feldspaths* et *plagioclases* sont remplacés partiellement ou en totalité par des *feldspathoïdes* (moins riches en silice), par exemple dans la roche Tuilière (phonolite).

III. APPARITION ET MONTEE DU MAGMA

A la base : les péridotites

Les péridotites sont, sous la croûte terrestre, les roches du manteau supérieur, entre 30 et 400 km de profondeur (la terre faisant 6378 km de rayon). Ces péridotites sont solides, en dépit de la chaleur, à cause des pressions colossales qu'elles subissent. Elles comprennent principalement les minéraux suivants : *olivine* ((Mg, Fe)₂SiO₄ où Mg est en proportion de 9 à 1 avec Fe, *pyroxènes* (composition voisine mais plus riches en Ca, Al, Na) et parfois *grenat* (composition voisine aussi mais à plus de 60 km de profondeur), parfois *plagioclases* (moins de 35 km), parfois *spinelles* (30-60 km).

Et le basalte apparaît !

Mais les péridotites peuvent localement fondre partiellement, si la pression diminue en relation avec des courants de convection intervenant à grande profondeur (pour faire bouillir

une eau ayant atteint seulement la température de 80 degrés au lieu de 100, il suffit de prendre un hélicoptère et de monter rapidement à l'altitude du Mont-Blanc, ce qui diminue la pression). Suite à la fusion partielle, les péridotites libèrent un liquide à composition de basalte qui, étant plus léger et peu visqueux, tend à s'échapper et à monter de plus en plus vite vers la surface.

Fissuration de l'écorce terrestre

On peut se demander pourquoi, l'écorce terrestre se fissure ici et pas ailleurs, permettant la montée des magmas. Plusieurs visions s'affrontent.

Certains géologues notent que le volcanisme est souvent associé aux chaînes de montagne, comme dans la ceinture de feu du Pacifique. On est donc tenté de chercher un modèle pour expliquer la conjonction du volcanisme français et des montagnes voisines. Le voici, selon Merle et Michon. L'Afrique emboutit l'Europe, nous dit la tectonique des plaques. Il en résulte évidemment un phénomène de compression qui a créé les Alpes et continue de les faire monter. Mais, en plus, il y a des phénomènes d'extension, liés au fait que la bordure de la plaque européenne est pliée vers le bas. Ceux qui ont tenu le rôle de pilier dans une équipe de rugby et qui ont été compressés entre les épaules des hommes d'en face et celles de leurs deuxième lignes mais qui, soulevés de terre, on vu leur tête rejoindre leurs genoux, ont bien compris que leur dos pouvait être violemment étiré au sein d'un phénomène globalement compressif ! Cela détermine l'apparition de *grabens*, autrement dit de *fossés d'effondrement*. Et, en effet, en avant de l'Arc Alpin, on trouve la Limagne, la Dombes et même l'Alsace. L'enfoncement de l'Europe dans le manteau aurait pour conséquence un flux de retour érodant par le dessous la croûte terrestre, ce qui faciliterait son percement. La conjonction des deux phénomènes (étirement, amincissement de la croûte) serait favorable à la montée du magma.

Mais d'autres géologues considèrent que l'on est en présence d'un « *point chaud* », c'est-à-dire d'une zone dans laquelle le déterminisme du volcanisme est lié à des courants de convection affectant le manteau. Au dessus des points chauds, il y a un fort amincissant de la croûte terrestre d'où des remontées éruptives perforant la surface. Les points chauds sont fixes. Mais, comme dans une machine à coudre, puisqu'on déplace latéralement le tissu (en fait la croûte par dérive des plaques continentales), on obtient des points de couture (volcans) alignés. C'est effectivement le cas dans le Massif Central, ceci du Puy de Dôme au volcan d'Agde.

Montée dans les fissures de l'écorce terrestre

S'il trouve un passage, le magma monte pour deux raisons :

1) Il subit la poussée d'Archimède car ce liquide de composition basaltique a une densité de 3 contre 3,3 pour les péridotites.

2) Il renferme beaucoup de gaz, en particulier du gaz carbonique (CO₂) et de la vapeur d'eau (H₂O). Ils sont dissouts en profondeur dans le basalte fondu mais celui-ci tend à dégazer près de la surface. Il se passe la même chose que dans une bouteille de champagne ouverte sans précaution : les gaz poussent le liquide et le font déborder. La présence d'eau, en profondeur et en grande quantité, s'explique par l'enfoncement local des croûtes continentales dans le manteau. En effet, il s'agit de matériaux riches en minéraux hydratés et carbonatés, pouvant donc potentiellement libérer de l'eau et du gaz carbonique.

Dans sa remontée, le magma emporte des fragments de péridotite non transformée que l'on retrouve intacts sous la forme d'inclusion dans la roche solidifiée en surface (basalte à olivine).

IV. DIFFERENTS TYPES D'ERUPTIONS

A l'échelle mondiale, on oppose les volcans rouges aux volcans gris. Les premiers correspondent à un volcanisme très puissant, celui des points chauds qui perforent les plaques. Ils émettent des basaltes qui sont très fluides et donnent des coulées spectaculaires, rouges la nuit, d'où leur nom. Cela correspond au type « hawaïen ». Les volcans gris au contraire se situent au-dessus des zones de subduction (enfoncement des plaques), typiquement celles de la Ceinture de Feu du Pacifique. Ils émettent des laves riches en silice qui sont cette fois très visqueuses. Elles montent difficilement et tendent à obstruer leur conduit. Il y a donc risque d'explosion de tout le volcan sous la pression des gaz (type péléen). Le type strombolien est intermédiaire. Ses panaches de cendres grises s'élèvent à plus de 10 km d'altitude.

Cette classification, quand elle est appliquée à de petits édifices volcaniques comme ceux du Massif Central, n'est pas pertinente. En effet, au cours de sa vie, le même volcan peut présenter des éruptions de différents types car la chambre magmatique va évoluer dans le temps et l'activité d'un volcan peut durer un million d'années avec une stabilité des types d'émissions pendant cent mille ans ou plus. Ainsi, les « strato-volcans », volcans stratifiés, tel le Puy de Sancy, ont-ils leurs flancs tapissés de dépôts correspondant à différents types d'émissions.

Dans son ascension au travers de la croûte, la lave rencontre souvent une zone de faiblesse au sein de laquelle elle fait sa place en érodant et en repoussant les parois. Cela détermine une *chambre magmatique*. Le volume de celle-ci représente parfois plus du million de km³. C'est donc une poche, ou une zone poreuse, de plusieurs km de profondeur et d'un diamètre de quelques 10 ou 20 km suivant l'horizontale. Elle est susceptible d'alimenter en surface, plusieurs cônes volcaniques. Surtout, elle est si vaste qu'elle met jusqu'à un million d'années pour se refroidir.

Or, la nature des éruptions évolue progressivement au cours de la vidange de la chambre.

Dans un premier temps, la lave est émise vers 1200 degrés, avec une composition de basalte, nous l'avons vu. Dans un second temps, les matériaux magmatiques commencent leur refroidissement. Cristallisent d'abord les minéraux dont la température de fusion-cristallisation est la plus élevée. Ils tombent lentement au fond de la chambre. Le liquide résiduel devient plus riche en silice et s'exprimera lors des éruptions tardives. Elles correspondent à des magmas plus clairs que le basalte et entrent dans la catégorie des andésites, trachytes voire rhyolites (cf. tableau ci-dessus). Or, comme d'une part la température a diminué et comme, d'autre part, les laves acides sont spécialement pâteuses, les émissions tardives sortent des bouches volcaniques comme dentifrices de leurs tubes, à 1000 degrés environ. Cela ne coule pas !

Dans l'ouvrage « L'homme et la Terre » (1974), on trouve ainsi décrite la dernière phase d'activité de la montagne Pelée, en Martinique, quelques jours après l'explosion qui fit 30 000 morts en 1902 :

« Du milieu du dôme, qui venait de se former dans le cratère, un obélisque de lave commença à s'élever vers le ciel, comme un gigantesque cierge de roche, grandissant à la vitesse incroyable de 10 à 12 mètres par jour. Pendant un an, cette extraordinaire tour, dont

la base avait 150 mètres de diamètre, continua sa croissance, la lave visqueuse se figeant progressivement à l'extérieur, jusqu'à ce que l'obélisque eût atteint une hauteur de 300 mètres au dessus du dôme. Puis une éruption renversa son façade, la lave se craquela, et la tour s'effrita lentement ».

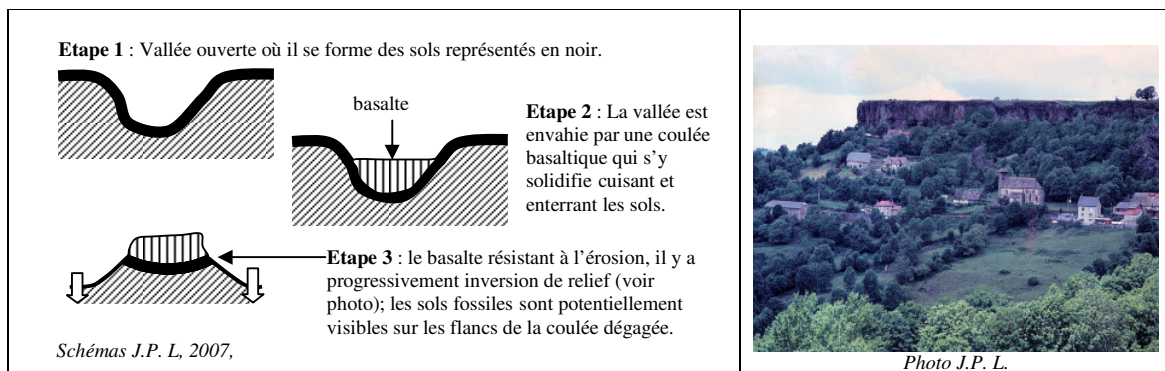
Ceux qui virent le phénomène eurent de la chance de pouvoir ensuite le raconter. Car à ce stade, ou bien l'extrusion s'arrête où bien le volcan explose à cause de la pression des gaz sous-jacents. Mais, dans le cas précis, l'explosion avait déjà eu lieu.

V. PAYSAGES VOLCANIQUES

Le volcanisme est typiquement constitué de l'association de quelques types principaux de formes qui vont être passées en revue.

Coulées basaltiques

Elles ont envahi les vallées où elles ont formé des entablements. Puis, comme elles sont beaucoup plus résistantes et massives que l'encaissant, elles ont été dégagées par inversion de relief.



Maars

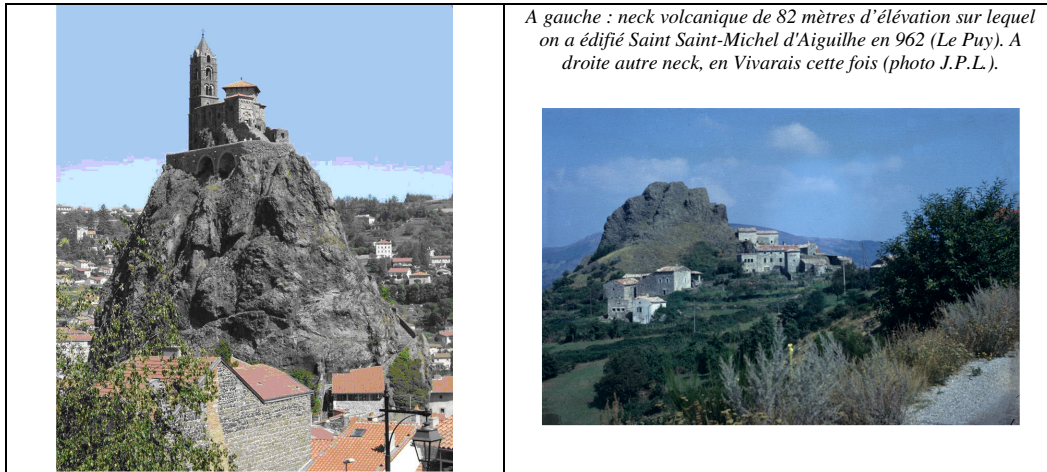
Il s'agit de cratères vidés de leur contenu par une explosion brutale ; ils peuvent être occupés par des lacs (ex : lac Pavin). En soi, l'observation d'un espace en cuvette n'a pas valeur de preuve. Mais, l'explosion tapisse tout le tour de la dépression de dépôts caractéristiques.



Dépôts stratifiés d'explosion volcanique dans le Massif Central (photo J.P.L.)

Necks volcaniques

Les montées magmatiques pâteuses décrites plus haut peuvent subsister sous forme de tourelles (= neck = cou en anglais) d'andésite, de trachytes ou de rhyolites dont le pourtour (cône volcanique non consolidé) a été éliminé par érosion.



VI. CHRONOLOGIE / TEMPS

En Auvergne, le volcanisme est peut-être lié à la surrection des Alpes, nous l'avons dit. Il est donc logiquement tertiaire et quaternaire (moins de 65 millions d'années). Mais tous les observateurs ont souligné la fraîcheur apparente des volcans de la région. Il est donc évident que certains sont récents. De fait, les datations modernes montrent que les derniers fonctionnaient encore il y a moins de 4000 ans [Boivin et al, 2004]. Nos ancêtres les ont vus en activité. Rien n'interdit à ces édifices de tousser à nouveau...

VII. SOLS SUR ROCHES VOLCANIQUES

Les sols sur roches volcaniques sont en général excellents. Les roches en cause contiennent en abondance des minéraux utiles aux plantes (Ca, K, Mg, Na). En plus, leur décomposition est facile car elles sont partiellement vitreuses et se présentent souvent sous forme de fragments déjà divisés (cendres, scories, lapilli). C'est pourquoi les pentes des volcans, mêmes actifs, sont utilisées partout dans le Monde, en dépit des risques qu'y courent les populations. Cependant, il ne faut pas trop généraliser et il y a de nombreuses exceptions limitant la richesse naturelle de ces régions.

- En haute altitude (plus de 1000 m en France), dès que le froid intervient, la matière organique s'accumule. Or, dans le cas des sols volcaniques de montagne, elle n'a pas de rôle utile. Au contraire, elle empêche les verres volcaniques de se transformer en argile. Le sol est alors constitué de substances mal cristallisées, appelées improprement « amorphes ». Elles ont une affinité exceptionnelle pour l'eau. Alors qu'un sol normal retient 20 ou 30% d'eau, un sol volcanique d'altitude, un *andosol*, peut retenir jusqu'à trois fois son poids d'eau (300%) ! Mais la plante ne peut arracher le précieux liquide à ces substances amorphes et elle meurt de soif dans un milieu pourtant gorgé d'humidité ! En plus, cela rend le terrain fragile. Si l'eau vient à dépasser une teneur critique, le sol peut passer brutalement de l'état solide à l'état liquide et donc alimenter des coulées boueuses dangereuses pour les populations. Au plan chimique, on a un phénomène comparable : le phosphore est trop bien retenu par le sol et n'est pas disponible pour la végétation. En résumé, en dépit de leur commune couleur sombre,

il ne faut pas confondre « l'andosol » des espaces volcaniques (photo de gauche) et « la terre de bruyère » des espaces granitiques (photo de droite). Seule la seconde convient aux pots de fleurs !



*A gauche un andosol sur matériaux volcaniques ;
à droite un rankosol (terre de bruyère) sur éboulis cristallin. A ne pas confondre ! Photos J. Moinereau et J.P.L.*

- Certains volcans crachent des éléments défavorables aux plantes. Par exemple la Soufrière (Guadeloupe), la bien nommée, exhale du soufre qui se transforme en acide sulfurique avec la pluie. Plus de 10 ans après la dernière éruption, rien ne repousse à proximité de la bouche d'émission.

- Souvent les planèzes volcaniques sont constituées de roches basaltiques très résistantes que le temps n'a pas encore altérées et que la charrue ne peut approfondir. Les sols y sont parfois très superficiels.

VIII. CURIOSITES LOCALES

Orgues basaltiques

Le refroidissement des coulées entraîne leur prismation par rétraction, ceci perpendiculairement à leur surface. Ces matériaux superbes conviennent mal à la construction car ils sont durs à tailler et cassent comme du verre, c'est-à-dire dans des directions imprévisibles. Le mieux est donc d'arrêter de les exploiter et de les conserver car ils représentent un patrimoine exceptionnel (voir photo ; c'est en Auvergne !).



Orgues basaltiques, Massif Central (photo J.P.-L)

Les chaussées des géants sont des coulées prismées observées par-dessus (structure en nid d'abeille).

Pierres précieuses

Les diamants sont des pierres bien ordinaires et très répandues. Il y en a partout sous nos pieds mais à une profondeur inaccessible de 150 voire 450 km ! On en obtient quand ils sont remontés en surface par un magma qui leur sert d'ascenseur. Ainsi, en Afrique du Sud, en Russie et ailleurs, la kimberlite, un type de matériau constituant parfois les cheminées volcaniques, est-elle riche en diamants. On l'exploite en descendant à partir de la surface dans des puits verticaux creusés au centre du volcan.

Plus près de nous, au Riou Pezzouliou, près du Puy-en-Velay, au moyen âge, on trouvait dans les champs, en surface après une pluie, ou remontés par la charrue, des saphirs, grenats, hyacinthes qui ornèrent reliquaires, statues, et gagnèrent même les trésors du pape et des rois de France [Richet, 2003].

Sources d'eau chaude

Les magmas mettent des milliers d'années à se refroidir complètement. L'eau atmosphérique qui atteint le sol et descend en profondeur est réchauffée à leur contact. Elle peut revenir en surface, poussée par les gaz dont elle s'est enrichie, d'où des eaux chaudes (tièdes en fait) dans Le Mont-Dore et à la Bourboule.

Dykes

La lave monte parfois dans des fissures à bord parallèles qui jouent le rôle de coffrage si bien que le matériel volcanique se solidifie en prenant une allure de mur de béton. Ces fissures s'ouvrent à cause de l'extension que provoque, dans les terrains voisins, l'extrusion du magma dans la cheminée volcanique centrale. C'est pourquoi les dykes ont souvent une disposition rayonnante autour de la cheminée.

Superbe dyke qui ressemble à un muret ordinaire mais est quasiment d'un seul bloc et tient debout en dépit d'un énorme dévers. Il est tourné sur sa droite à droite vers le neck qui a facilité sa mise en place. Lodévois, à proximité du lac du Salagou. Photo J.P.L



Paléosols

L'inversion de relief qui suit souvent le dépôt des coulées basaltiques permet généralement d'observer des « paléosols » enfouis. Revoir schéma donné plus haut. Malheureusement la température extrême de la coulée au moment du dépôt et son poids ont beaucoup modifié le sol qui a été cuit et dont la structure a été modifiée. En plus, des projections volcaniques sont intervenues et ont pollué le sol primitif. On ne peut donc se fier à sa couleur ou à son organisation physique pour l'identifier. En revanche, sa composition minéralogique, de haut en bas, donne des précisions sur son type original et sur le climat sous lequel il s'était différencié avant sa fossilisation par le basalte. On vérifie ainsi qu'aux

époques de la mise en place des coulées, dans le Massif Central, régnait un climat méditerranéen affirmé, voire tropical [Quantin *et al*, 2007].



Coulée basaltique venue recouvrir un sol près de Langeac. Talus de l'autoroute A75 à l'époque de sa construction. On voit très bien la coulée, l'horizon clair de surface du sol, l'horizon médian un peu plus sombre et le matériel plus rouge dans lequel le sol s'est initialement développé. Photo J.P.L.

Bombes volcaniques

Il s'agit de projections qui, violemment expulsées par un volcan, à 400 km/h, prennent, dans l'air la forme de crêpes qui s'enroulent ensuite sur elles-mêmes car elles retombent en tournoyant, d'où leur forme en fuseau. Le contact avec l'air oxyde brutalement le fer présent ce qui leur confère leur couleur rouge, au moins en surface. Souvent leur noyau est fait de péridotite (olivine de teinte vert « péridot » quand elle n'est pas oxydée). Parfois leur taille est considérable et il vaut mieux ne pas les prendre sur la tête...

BIBLIOGRAPHIE

- Boivin P., Besson J.C., Briot D., Gourgaud A., Labazuy Ph., Larouzière (de) F.D., Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Morel J.M., Vernet G., Vincent P., 2004.** Volcanisme de la chaîne des Puys. Parc des Volcans d'Auvergne, 179 p.
- Groueff Stéphane, 1974.** L'homme et la Terre, Coll. Raymond Cartier, Larousse-Paris-Match, 396 p.
- Legros J.Paul, 2007.** Les grands sols du Monde, PPUR Lausanne, 575 p.
- Nehlig Pierre, Boivin Pierre, de Goër (de) Alain, Mergoïl Jean, Prouteau Gaëlle, Sustrac Gérard, Thiéblemont Denis, 2003.** Les volcans du Massif Central. Numéro spécial de la revue Géologues. BRGM, 41 p.
- Quantin P., Dejou J., Tejedoret M., Jimenez C., 2007.** Sols et paléo-altérites sur roches volcaniques du cantal. EGS, vol. 14, n°1, pp. 43-62.
- Richet Pascal, 2003.** Guide des Volcans de France, Belin-BRGM, 427 p.