

Le couple maar de Beaunit et puy Gonnard, un ménage à trois !

Jean-Louis Fromont et Roland Mahérault, membres de la SAGA.

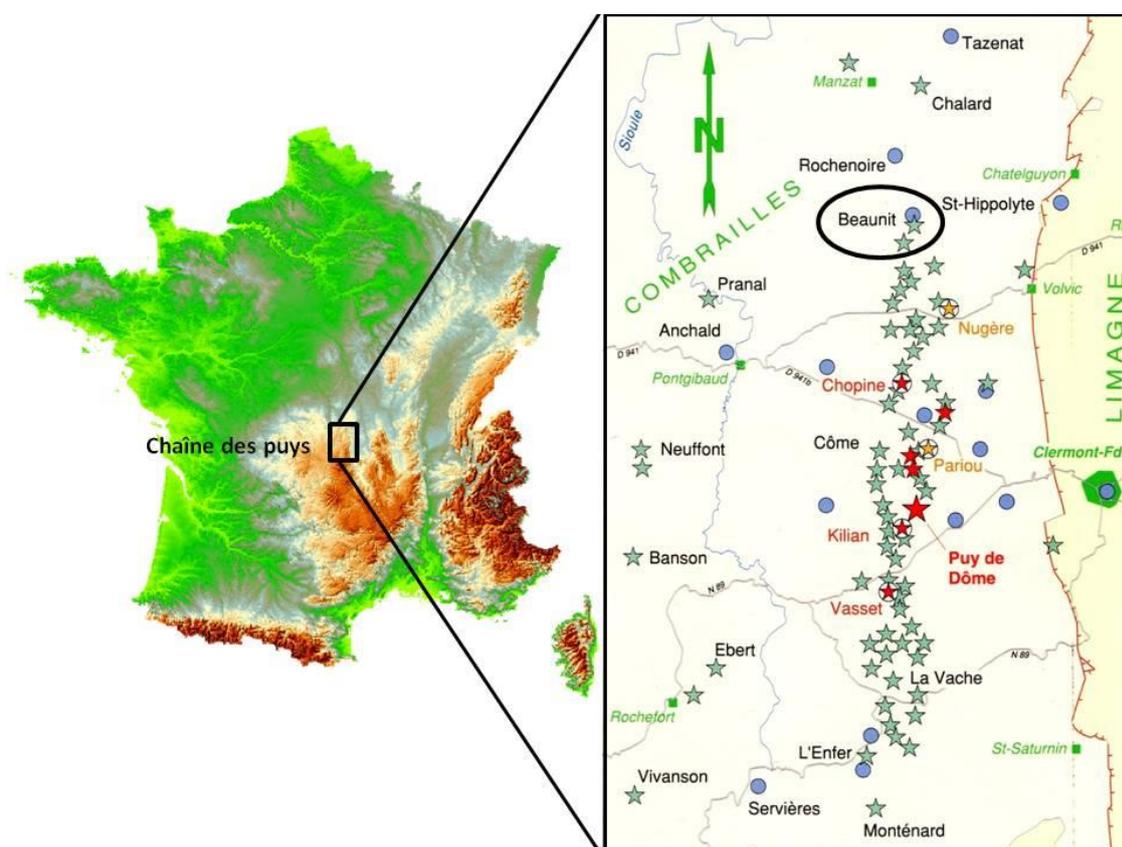


Figure 1. Situation géographique de la Chaîne des puy, au nord du Massif central.

En septembre 2015, la Commission de volcanisme de la SAGA est allée à la découverte de la Chaîne des puy qui aurait d'ailleurs bien méritée d'être rebaptisée « chaîne des pluies » à cette occasion ! En effet, la météo qui s'annonçait agitée a tenu toutes ses promesses en nous arrosant copieusement, tout en nous offrant quelques belles éclaircies. Décidément, nous aurions dû relire Alexandre Vialatte, avant d'entreprendre cette aventure, lui qui écrivait : « Munissez-vous toujours de lainages lorsque vous allez en Auvergne. Tout y est aigret : le fond de l'air, le fromage, le vin, le son de la vielle ».

La Chaîne des puy est la plus septentrionale des grandes unités volcaniques du Massif central (figure 1).

Elle culmine à 1 464 m au puy de Dôme et se trouve être la première zone d'altitude offerte aux vents humides venant de l'océan, d'où la réputation de « château d'eau de la France » attribuée au massif. Il tombe en moyenne 1 000 mm de pluie par an vers 900 m d'altitude dans la région, voire 1 500 mm sur le puy de Dôme. Une partie importante de cette eau est évacuée à l'ouest par la vallée creusée par la Sioule et, à l'est, vers le fossé de la Limagne.

Histoire géologique sommaire

Pour comprendre l'origine de la centaine de volcans qui se sont érigés brutalement il y a un peu moins de 200 000 ans, il faut remonter les temps géologiques.

Au cours de la seconde moitié de l'ère primaire, l'orogénèse varisque donne naissance à la chaîne à laquelle appartient le Massif central.

• **À la fin du Primaire** (– 245 Ma), le Massif central est une pénéplaine résultant de l'érosion de la chaîne varisque.

• **Au Secondaire**, le massif pénéplané s'est maintenu en îlot émergé au milieu des mers jurassiques et crétacées.

• **Au début du Cénozoïque**, il y a 65 Ma, l'actuel Massif central n'était encore qu'un vaste plateau très surbaissé, sans relief notable, constitué de granite et de roches métamorphiques hercyniens.

• **À l'Éocène-Oligocène**, de – 40 à – 35 Ma, suite aux mouvements relatifs des plaques lithosphériques africaine et eurasiatique et à l'orogénèse alpine, la croûte continentale de l'Europe occidentale se trouve étirée d'ouest en est, amincie et fissurée. Des compartiments du socle se soulèvent (horst du plateau des Dômes), d'autres au contraire s'affaissent pour former des fossés d'effondrement ou grabens (Limagne, Bresse) (figure 2).

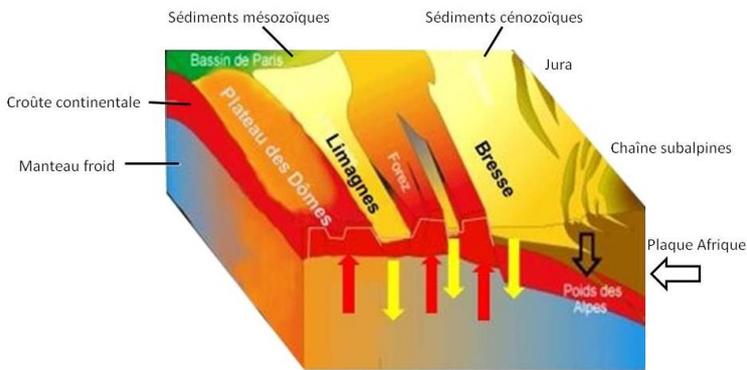


Figure 2. Soulèvements et affaissements du socle. (Modifié d'après Boivin P. 1995).

• **Au Miocène**, le massif subit un soulèvement généralisé, les horsts se rehaussent accélérant l'érosion.

• **Jusqu'au Quaternaire**, le plateau des Dômes est toujours soumis à une forte érosion qui s'effectue selon deux axes :

- vers le nord, drainant ce plateau par la paléo-Seine, puis la Loire, qui dépose les sables de Lozère ;
- vers l'est, en participant au comblement de la Limagne située à 3 000 m sous le niveau du horst.

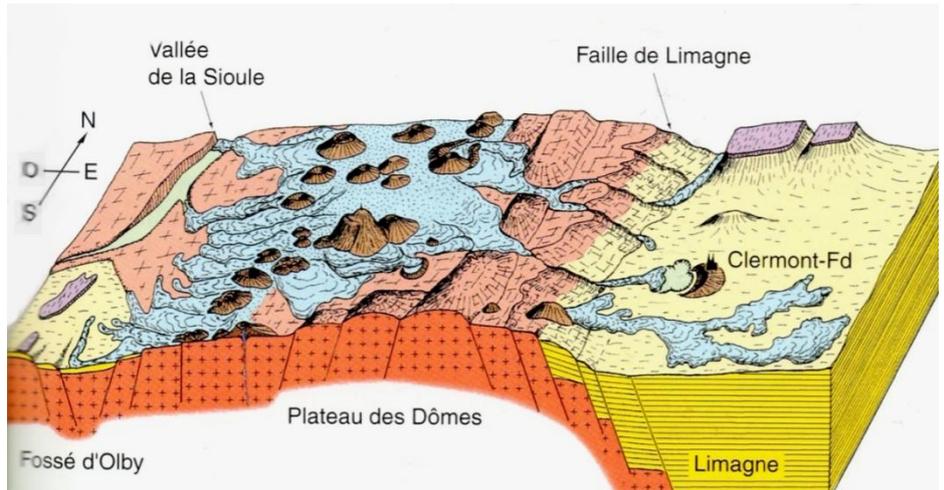


Figure 3. Position morpho-structurale de la Chaîne des puys.

• **À partir de – 170 000 ans**, plus de cent appareils volcaniques vont entrer en activité (figure 3).

Le maar de Beaunit et le puy Gonnard, situés dans la partie septentrionale de la chaîne, feront leur apparition autour de – 50 000 ans. Notre groupe va consacrer sa première matinée à l'étude des dépôts pyroclastiques de ces deux volcans.

Le maar de Beaunit

Le maar de Beaunit est situé au nord de la Chaîne des puys, comme indiqué sur la figure 1.

Le panorama de la figure 4 (voir page suivante), pris depuis l'anneau des projections du maar de Beaunit, permet de distinguer nettement la dépression, cratère aujourd'hui comblé, avec dans sa partie sud le cône strombolien du puy Gonnard qui cache le puy Thiollet situé plus au sud.

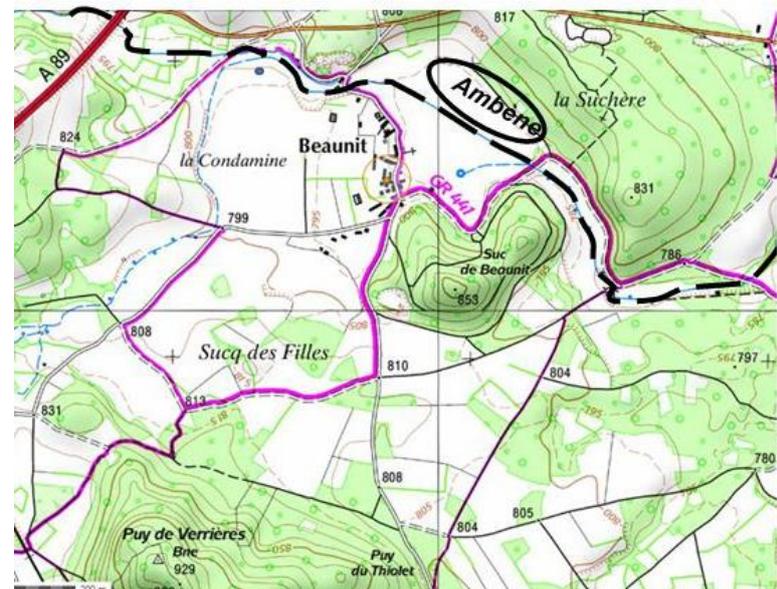


Figure 5. Carte IGN. La rivière de l'Ambène actuelle est indiquée en tirets noirs.

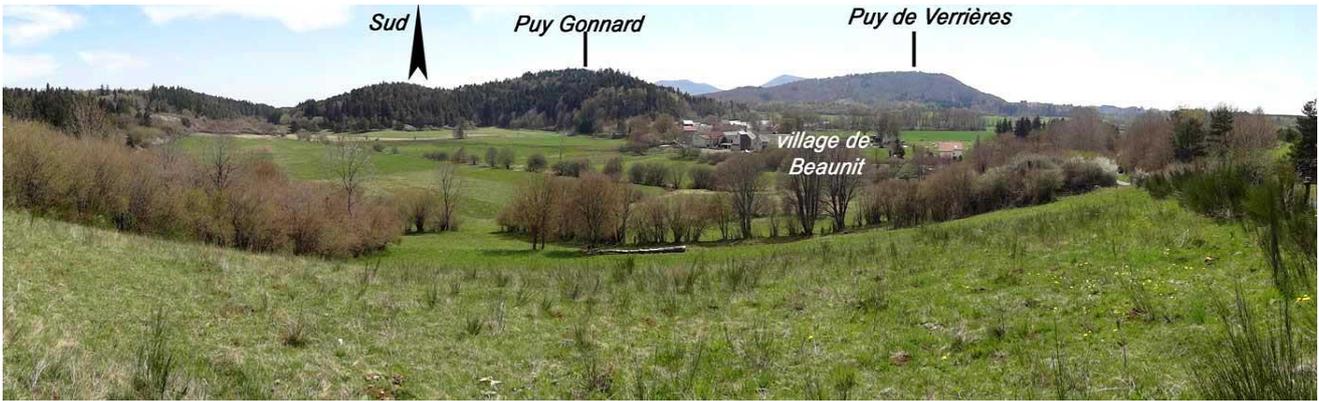


Figure 4. Le panorama pris du nord du maar souligne bien la morphologie de l'endroit (photo Daniel Levert).

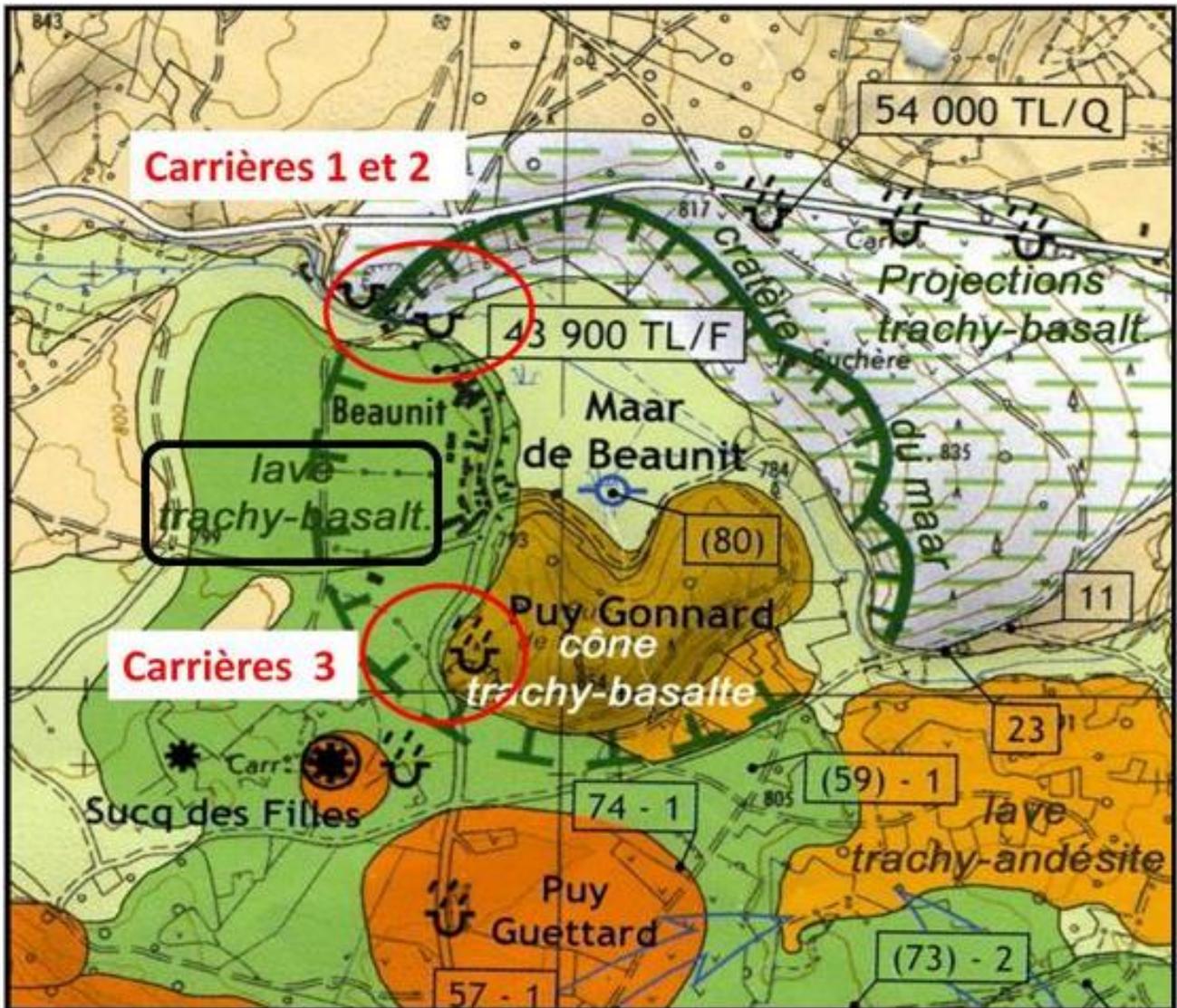


Figure 6. Carte géologique, morphologique et structurale du site.

En trait plein dentelé : limite visible du cratère du maar de Beaunit (diamètre : 1 km) ; en trait discontinu si la limite est masquée. Encadré en noir : coulée de laves trachybasaltiques du puy Thiollet qui a recouvert une grande partie du maar là où le village de Beaunit s'est édifié.

Tirés sur fond blanc : dépôts pyroclastiques du maar qui marquent le bord du cratère. Les carrières n° 1 et n° 2 sont ouvertes dans cet anneau. La carrière n° 3 est ouverte dans le cône strombolien du puy Gonnard. Ce dernier s'élève donc dans le cratère du maar.

La petite rivière de l'Ambène (figure 5, voir page 9) a vraisemblablement participé à l'éruption phréato-magmatique. À noter, le terme local de « suc » qui désigne un sommet d'origine volcanique au sens large.

C'est à la demande de Dominique Rossier qu'Alain Gourgaud, ancien professeur de géologie à Clermont, nous a rejoints pour cette première journée. Il fait partie de l'équipe qui a rédigé l'ouvrage *Volcanologie de la chaîne des Puys*, dont est extraite la carte de la figure 6. Cet ouvrage nous a été bien utile sur le terrain et pour la préparation de cet article.

Termes utilisés pour le classement des pyroclastites

- *Suivant leur granulométrie* :
 - moins de 2 mm : cendres ;
 - de 2 à 64 mm : lapillis ;
 - plus de 64 mm : blocs et bombes.
- *Suivant leur texture* :
 - ponces : densité inférieure à 1 ;
 - scories : densité supérieure à 1 ;
 - laves.

Les dépôts dans la carrière n° 1 sont stratifiés subhorizontalement, les strates empilées ont des épaisseurs très variables du millimètre au décimètre, voire plus. Les couches sont principalement composées de lapillis noirs, de cendres et d'un matériel clair plus ou moins fragmenté qui n'est pas juvénile : ici, le socle est granitique, donc les xénolites (1) sont essentiellement granitiques. Alain Gourgaud précise que ces xénolites représentent environ 50 % du matériel éjecté.



Figure 7. La carrière n° 1.

Nous pouvons également apercevoir des couches constituées des mêmes éléments mais moins fragmentés avec des blocs de grande taille. On remarque que ces dernières sont plus sensibles à l'érosion qui agit de façon différentielle en fonction de la granulométrie et de la cohésion des dépôts, d'où les éboulis importants.

Dans la carrière n° 2, les dépôts sont majoritairement constitués d'éléments fragmentés de petite taille, d'où le nom de « carrière de sable » qui a été donné par les villageois.



Figure 8. La carrière n° 2.

Mais on remarque aussi une couche constituée de gros blocs dans laquelle ont été échantillonnés des xénolites. Certaines couches présentent des ondulations et des figures d'impacts (figure 9). Les blocs marquent de leur empreinte les couches sur lesquelles ils tombent. Comme ces couches sont faites d'un mélange de dépôts divers et imprégnées d'eau, au moment de l'éruption elles sont évidemment un peu



Figure 9. Ondulations et figures d'impact.

boueuses et les blocs qui tombent forment des cuvettes d'impact symétriques (ou dissymétriques, ce qui constitue alors un critère permettant de déterminer de quelle direction venaient les blocs).

S'il n'y a pas de déformation sous les blocs, c'est qu'ils ont été apportés horizontalement par la déferlante basale (figure 10).

du cratère en un écoulement turbulent sous forme d'un mélange de gaz et de particules appelé déferlante basale ;

- les parois du cratère, sous le choc des explosions, se fracturent et s'effondrent. L'explosion suivante fragmente cet encaissant que l'on retrouve dans les produits éjectés (ici xénolites de granite). En même temps, le cratère s'élargit pour atteindre ici un kilomètre de diamètre.

Alain Gourgaud nous précise que les explosions se succèdent de façon rythmique, espacées de quelques minutes à quelques heures et qu'un maar peut être créé en quelques semaines et plus probablement en quelques jours. L'activité phréatomagmatique s'arrête si l'eau et le magma ne sont plus en contact (détournement du cours d'eau, plus de remontée de magma...).

Ce scénario permet de comprendre la plupart de nos observations. Il reste cependant des éléments à éclaircir : les variations d'épaisseur et de granulométrie des strates.

Si le rapport entre l'eau et le magma est optimum (10 % d'eau), l'énergie explosive va être considérablement accrue et la fragmentation du magma est très importante : on obtient alors des couches cendreuse fines.

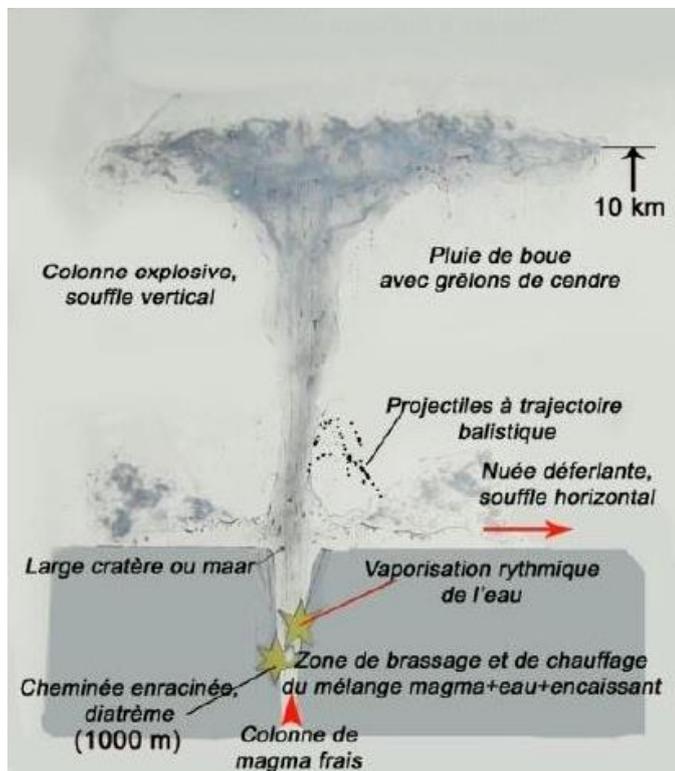


Figure 10. Schéma d'une éruption phréatomagmatique et formation d'un maar.

Il est temps de reconsidérer nos premières observations à la lumière de ce que nous savons sur le fonctionnement d'un maar, formidable machine à vapeur. Le magma basique ascendant rencontre une zone saturée d'eau.

L'ouvrage *Volcanologie de la Chaîne des Puys* propose le scénario suivant :

- formation d'un film de vapeur d'eau surchauffée ;
- expansion-affaissement du film de vapeur (pulsation de l'ordre de la milliseconde) qui provoque la fragmentation progressive du magma en fusion, augmente la surface de contact entre vapeur et magma et déclenche l'explosion ;
- expulsion à grande vitesse d'une colonne éruptive de particules fines, lapillis, blocs arrachés à l'encaissant et bombes en suspension dans la vapeur d'eau ;
- blocs et bombes s'entrechoquant sont éjectés de la colonne et retombent en suivant une courbe parabolique (figures d'impact) ;
- très vite, la vapeur d'eau se condense, la colonne éruptive s'écroule et retombe dans et sur le pourtour

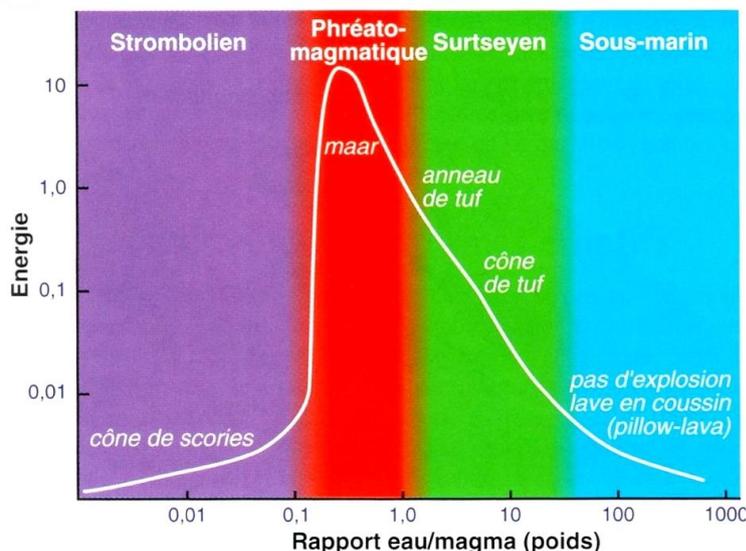


Figure 11. Relation entre l'énergie explosive et le rapport eau/magma (d'après H. Wohletz et R. G. McQueen, 1984).

Pour illustrer l'importance de ce rapport, Alain Gourgaud nous raconte une anecdote qui, précise-t-il, n'est pas à l'origine de sa vocation de géologue. Son père était instituteur et l'hiver la classe était chauffée avec un poêle à charbon. Lorsqu'il versait une cuillerée d'eau sur les charbons ardents, une petite explosion se produisait. À l'inverse, lorsqu'il plongeait un boulet rougeoyant dans un seau d'eau, cela provoquait

un petit pschitt ! Presque rien... La rencontre eau et magma n'est pas un processus uniforme : une plus ou moins grande arrivée d'eau modifie la puissance des explosions, donc la fragmentation : les couches de blocs et de bombes sont la marque d'une explosion moins forte, tous les intermédiaires existent.



Figure 12. Xénolites de granite au sein de lapillis noirs.

Une caractéristique importante des éruptions de type maar, c'est qu'elles peuvent nous donner des informations sur la nature du socle qu'elles traversent, arrachant au passage des éléments appelés xénolites. Ici, le socle est granitique comme le montre bien la figure 12, prise sur le sol de la carrière au pied de l'un des nombreux éboulis.



Figure 13. Bombe en chou-fleur sciée pour la confection d'une lame mince.

Le matériel juvénile responsable de l'éruption est ici essentiellement constitué de lapillis vitreux, noirs. Le terme vitreux indique que le matériel éjecté est peu ou pas vésiculé : lors de sa sortie, le magma décompresse, les gaz s'échappent très tôt et le matériel fragmenté subit le phénomène de « trempe », refroidissement brutal dans un environnement très im-

portant de vapeur d'eau : c'est l'origine des bombes en chou-fleur à surface mamelonnée (figure 13).

Dans ces bombes en chou-fleur, on note aussi la présence de phénocristaux de feldspath issus du granite, ce qui montre à quel point la fragmentation des granites peut être importante.

Le puy Gonnard

La carrière n° 3 a été ouverte dans le cône strombolien du puy Gonnard.



Figure 14. La carrière n° 3 dans le flanc ouest du puy Gonnard.

Ce qui frappe d'entrée, c'est la couleur du front de taille : noir ! Le contexte dynamique phréatomagmatique s'est interrompu bien que l'on soit encore dans le cratère du maar de Beaunit : la source d'eau est tarie (l'Ambène a peut-être été détournée de son cours par les dépôts du maar) mais l'activité éruptive se poursuit en régime strombolien, édifiant le puy Gonnard qui comble une partie du cratère du maar.

C'est le même magma qu'à Beaunit, mais qui donne ici des matériaux noirs, non vitreux, scoriacés et beaucoup plus vésiculés. Ici, pas de déferlante mais des retombées, le magma fragmenté d'éléments de toutes tailles monte verticalement et retombe tout autour du cratère d'une manière plus ou moins régulière (influence des vents dominants...).

Si l'on prend une poignée de ses scories, on voit immédiatement qu'elles ont un caractère différent de celles du maar, elles résultent d'une pluie de pyroclastes.

Les éléments éjectés construisent au fur et à mesure un cône qui va s'élever, les dépôts se répartissent sur ses pentes : on a donc des pendages externes par rapport au cratère. En général, ces pendages sont de

l'ordre de 32 à 33°. Ici, Dominique Rossier a mesuré le pendage qui atteint 35°.

Ce cône a été édifié tout de suite après l'interruption de l'épisode phréatomagmatique (quelques jours, semaines ou mois, pas plus) ; c'est un phénomène classique aujourd'hui observé aux Açores. En Islande, des épisodes stromboliens ont succédé à des épisodes surtseyens (2) avec parfois des coulées de lave.

Les éboulis sont importants (figure 14) et les scories qui les constituent sont des lapillis noirs, non vitreux et très vésiculés : c'est le faciès de bas de cône par opposition au faciès cœur de cône où les lapillis sont de teinte rouge.

Au contact de l'oxygène de l'air et à proximité du cratère où la température est élevée, le fer contenu dans les minéraux des projections a le temps de s'oxyder ; ce qui n'est pas le cas des éléments qui tombent plus loin et qui ont eu le temps de refroidir avant l'oxydation.

Sur la figure 15 ci-dessous, on retrouve un peu cet état d'oxydation dans ce petit édifice adventif (3) où l'on distingue bien la teinte rougeâtre.



Figure 15. Bloc de scories oxydées et cimentées par des dépôts fumerolliens. (Photo D. Rossier).

Le couple maar/cône strombolien est formé et, comme dans de nombreux maars, la dépression s'est lentement comblée (saupoudrage des retombées du puy Gonnard, sédimentation lacustre).

Mais, avant cela et très rapidement, un nouveau venu s'est invité, le puy Thiollet, dont les coulées de laves trachybasaltiques ont recouvert toute la partie sud du maar, d'où l'image du « ménage à trois » !

Nous avons évoqué plus tôt l'abondance des xénolites de granite dans les dépôts du maar.

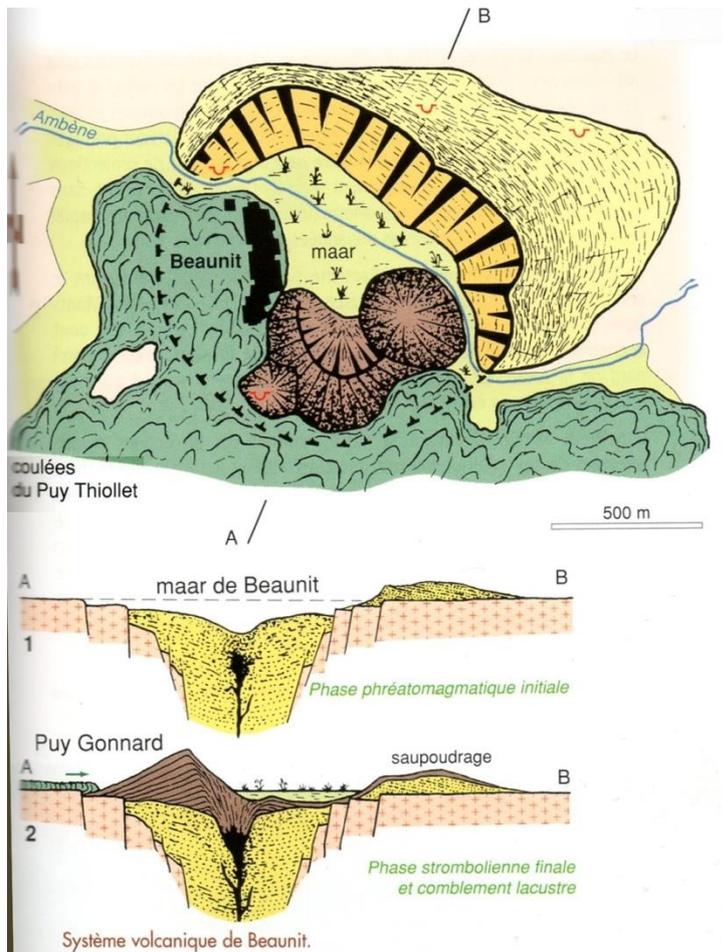


Figure 16. Les deux phases du système volcanique de Beaunit.

Dominique Rossier et Daniel Levert, lors de leurs journées pour la préparation de notre séjour, ont échantillonné d'autres xénolites mafiques et ultramafiques.



Figure 17. Différents types de xénolites.

Ce sont des roches d'origine profonde remontées par les laves de Beaunit et de Gonnard : granulites de la base de la croûte et péridotites provenant du manteau. Un travail d'analyse pétrographique, de fabrication et d'études de lames minces est en cours.

Origine du volcanisme du Massif central

C'est le modèle géologique de Merle et Michon (2001) qui semble le plus cohérent avec toutes les données disponibles aujourd'hui. Ce modèle considère que l'évolution tectonique du Massif central et le

volcanisme qui y est associé ont pour cause la formation de la chaîne alpine et l'enfoncement par subduction de la plaque lithosphérique européenne sous la plaque apulienne. Comme nous l'avons évoqué au début de cet article, il en résulte un étirement et la distension de la plaque Europe, avec la formation de fossés d'effondrement et leur sédimentation. La remontée de l'asthénosphère chaude et la diminution de la pression entraînent une fusion partielle des roches à la base de la croûte et au sommet du manteau, ce qui donne un peu de « jus basaltique ».

Ce ne sont pas de gros volumes : c'est le volcanisme dispersé dans la région (Limagne, Forez...).

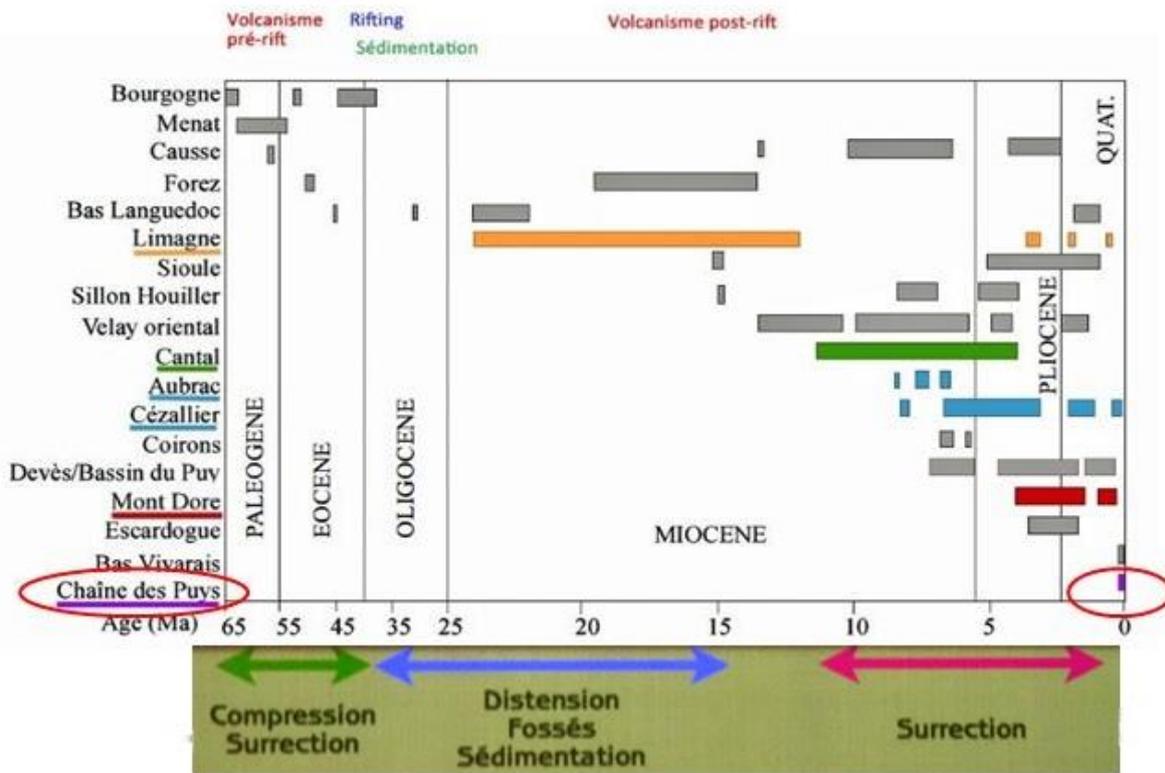
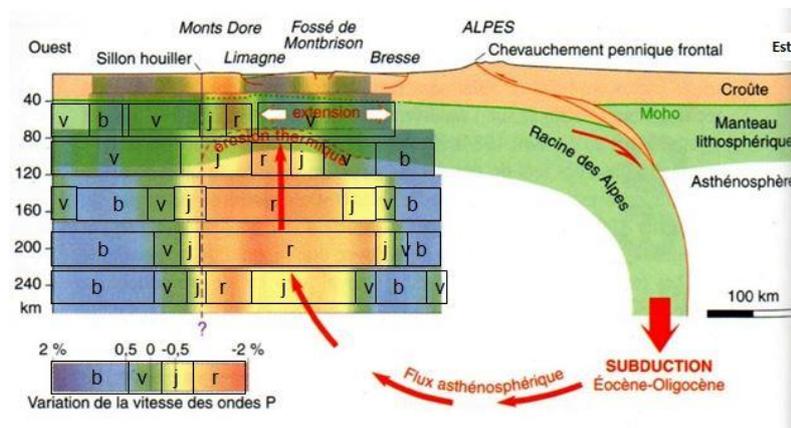


Figure 18. Les âges du volcanisme du Massif central. (Source : 2013 AVG_CR_Sortie-Auvergne-Chaîne-des-Puys-2, modifiée).

Plus tard, la surrection du Massif central et l'érosion des sédiments du fossé de Limagne font apparaître la faille bordière et, par inversion de relief, les édifices volcaniques des buttes de Limagne. Puis l'érosion thermique, due à la remontée de l'asthénosphère, déplacée par la racine des Alpes, est à l'origine des phases d'activités majeures du volcanisme qui va s'étaler sur quelque 10 Ma (Cantal, Devès, Mont Dore, etc.) et se terminer par l'édification de la Chaîne des puys presque contemporaine.

Figure 19. Modèle Merle et Michon (2001) avec, en superposition, variation des vitesses des ondes sismiques.



La superposition des variations des vitesses des ondes **P** (4), sur le modèle de Merle et Michon (figure 19), semble bien confirmer la présence de ce flux de chaleur asthénosphérique : jaune pour les vitesses lentes, donc zones plus froides, et rouge pour les vitesses plus rapides, donc zones plus chaudes.

Alimentation magmatique de la Chaîne

Le magma primitif monte du manteau, il s'accumule à la base de la croûte terrestre aux alentours de 25 km et alimente sporadiquement soit un volcan en surface, soit une poche intermédiaire où le magma va stationner, se refroidir, cristalliser petit à petit et évoluer pour donner *in fine* des magmas de compositions différentes.

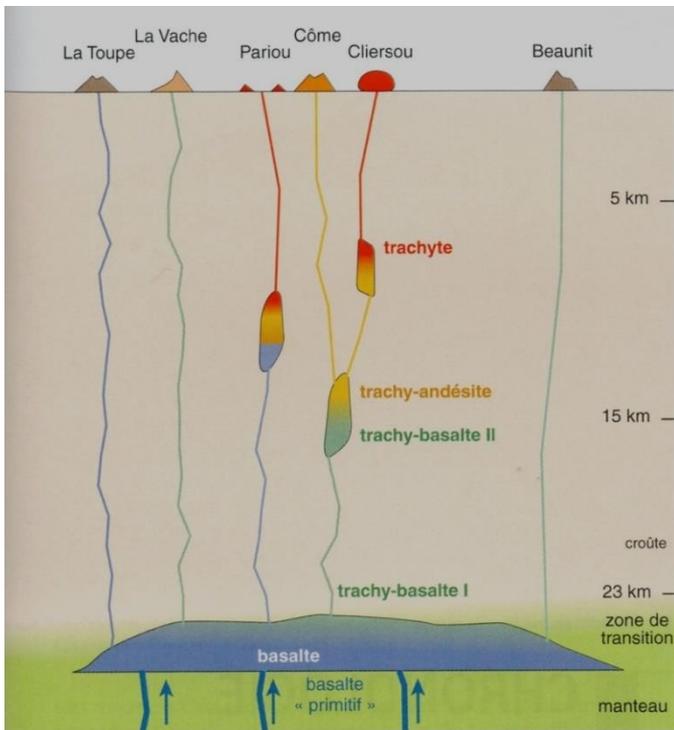


Figure 20. Alimentation magmatique de la Chaîne des puy.

Au cours de cette cristallisation fractionnée, des cristaux sont soustraits et le magma s'enrichit progressivement en silice et en alcalins : c'est ce qu'indique le diagramme de la figure 21. Le domaine du maar de Beaunit, des puy Gonnard et Thiollet est celui des basaltes et trachybasaltes.

Le fractionnement se poursuit vers les trachyandésites et les trachytes. En réalité, la différenciation se fait de façon continue.

Lors d'un exposé donné au Muséum sur la Chaîne des puy, en décembre dernier, Pierre Boivin nous a présenté un bloc diagramme, modifié ensuite par Dominique Rossier (figure 22).

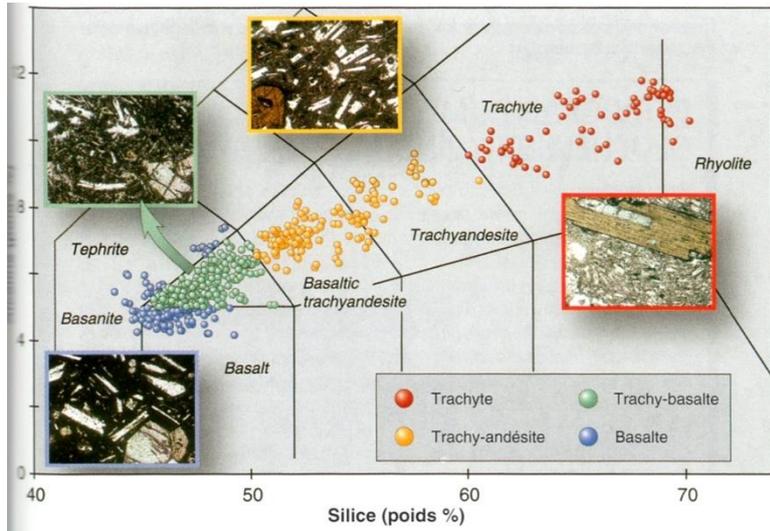


Figure 21. Diagramme TAS. Composition des laves de la Chaîne des puy et classification internationale IUGS. Les images de lames minces illustrent la nomenclature utilisée ici et repérée par des couleurs différentes.

Je reprends textuellement les termes de Pierre Boivin : « Quand la grande faille de Limagne s'est formée..., un amincissement particulier juste à l'aplomb de la faille a joué le rôle d'un collecteur, d'une gouttière à l'envers, où le magma du toit du manteau s'est accumulé et a formé cette grande chambre qui a la longueur de la Chaîne des puy, 30 km. C'est elle qui alimente soit directement, soit par les poches intermédiaires, les différents types de volcans de la chaîne et leurs magmas plus ou moins évolués ».

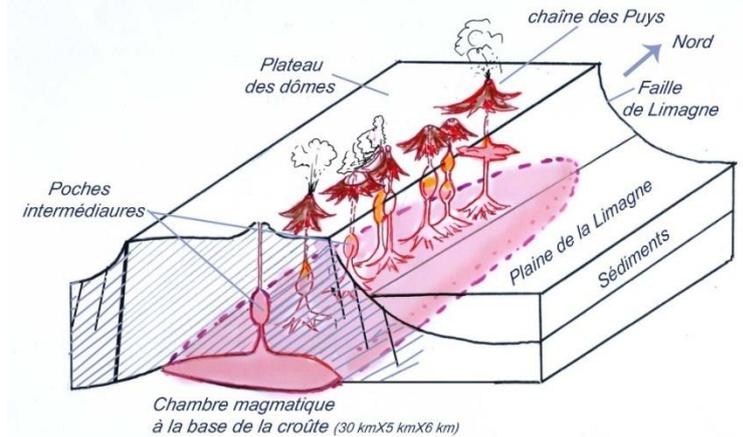


Figure 22. Bloc diagramme de la Chaîne des puy (adapté par Dominique Rossier).

En conclusion, on a en surface un ensemble d'édifices volcaniques qui sont éteints. Par contre, en profondeur, les systèmes superficiels avec les chambres associées sont alimentés par un réservoir de très grande taille (environ 30 x 5 x 6 km, soit 900 km³). Le volume calculé des produits émis par la Chaîne des puy est d'environ 8 km³. Ce n'est donc

qu'une petite fraction de ce grand réservoir. Un tel volume ne se refroidit que très lentement. Comme les processus de transfert de chaleur dans le manteau sont très lents, la théorie de Merle et Michon est sans doute encore à l'œuvre, et ce réservoir est donc toujours approvisionné en chaleur.

Toutes les études montrent que les conditions sembleraient remplies pour une nouvelle apparition d'un volcanisme dans le Massif central.

Quand ? Cela, personne ne sait le prévoir !

Hydrogéologie

Comme vous pouvez l'imaginer, ces éruptions ont eu, par le volume des matériaux éjectés, un impact important sur l'environnement local et plus particulièrement sur la circulation des eaux.

Toutes les vallées entaillant le plateau ont été envahies à plusieurs reprises par des produits volcaniques, retombées de cendres et coulées de laves, qui ont fortement modifié le contexte hydrologique. À titre d'exemple, le volume de matériaux volcaniques répartis sur le bassin de Volvic est d'environ 2 km³.

C'est ce que nous allons tenter d'étudier à partir de l'exemple du bassin versant de Beaunit. Comment le nouvel équilibre hydrologique s'est-il établi ?

Les nuages, poussés par le vent d'ouest dominant, viennent buter sur la Chaîne des puys, s'élèvent en passant l'obstacle et se refroidissent en prenant de l'altitude, ce qui entraîne la condensation de la vapeur d'eau qui les compose : il se met à pleuvoir ou à neiger, suivant la saison. Sur le paléosol granitique qui constituait le bassin versant, l'eau s'écoulait vers les vallées encaissées.

Le reste constitue ce qu'on appelle l'infiltration efficace, c'est la partie qui pénètre dans le sol et forme les nappes phréatiques au contact de surfaces imperméables.

L'étude du contexte hydrologique est basée sur les mesures effectuées lors de sondages dans lesquels on introduit des piézomètres pour mesurer le niveau de l'eau dans le sous-sol (cote piézométrique). Lorsque c'était possible, la profondeur du substratum granitique (cote substratum) a également été mesurée.

Par exemple, les mesures effectuées dans le maar de Beaunit ont permis de déterminer la composition du sous-sol :

- environ 15 m de dépôt lacustre : tourbe, vase et sables fins ;
- 60 m environ de scories très perméables, mêlées d'éléments du socle ;
- et enfin le socle granitique.

Un pompage expérimental de six mois à 500 m³ x h⁻¹ dans ces scories a montré que le bilan hydrogéologique du maar ne pouvait pas s'établir avec les seuls apports venus du bassin granitique amont de l'Ambène.

Plusieurs campagnes de sondages ont été réalisées dans le cadre de l'implémentation de l'autoroute A89. Les différentes cotes, reportées sur une carte, permettent d'obtenir une représentation du profil du substratum, du niveau de la nappe phréatique et du bassin versant.

Elles ont également permis d'établir les éléments suivants :

- indépendance du réseau de surface de l'Ambène et de la nappe profonde ;
- la nappe profonde du maar est essentiellement alimentée par l'infiltration directe sur les terrains volcaniques entourant le maar ;
- la réserve du maar de Beaunit est évaluée à plusieurs millions de m³ ;
- la nappe profonde est une partie du bassin hydrogéologique de Volvic.

Les eaux minérales de Volvic sont collectées par trois paléothalwegs (figure 24, page suivante). Celui sur lequel est constitué le maar de Beaunit est le plus important en volume, les deux autres sont ceux de la Nugère et du Luzet.

Le bassin amont réside dans une zone pauvre en agriculture et élevage et riche en forêts. L'eau traverse un filtre majoritairement non saturé, constitué de scories, elle est froide (9 °C environ dans les nappes), peu minéralisée et saine. Elle remplit donc les critères requis pour mériter la dénomination d'eau minérale naturelle.

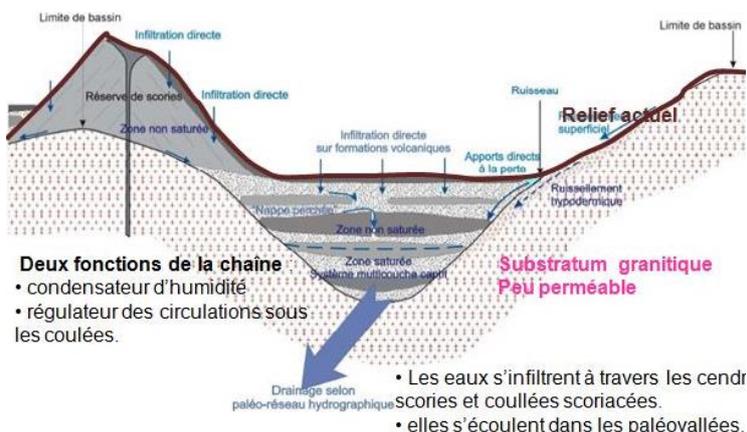


Figure 23. Dynamique hydrologique. (Source : coupe transversale dans l'aquifère et la paléovallée granitique. Joux, 2001. Modifiée).

Après l'épisode volcanique quaternaire, un peu plus de 50 % de l'eau de pluie est absorbée par la végétation, s'écoule et grossit les ruisseaux, ou s'évapore.

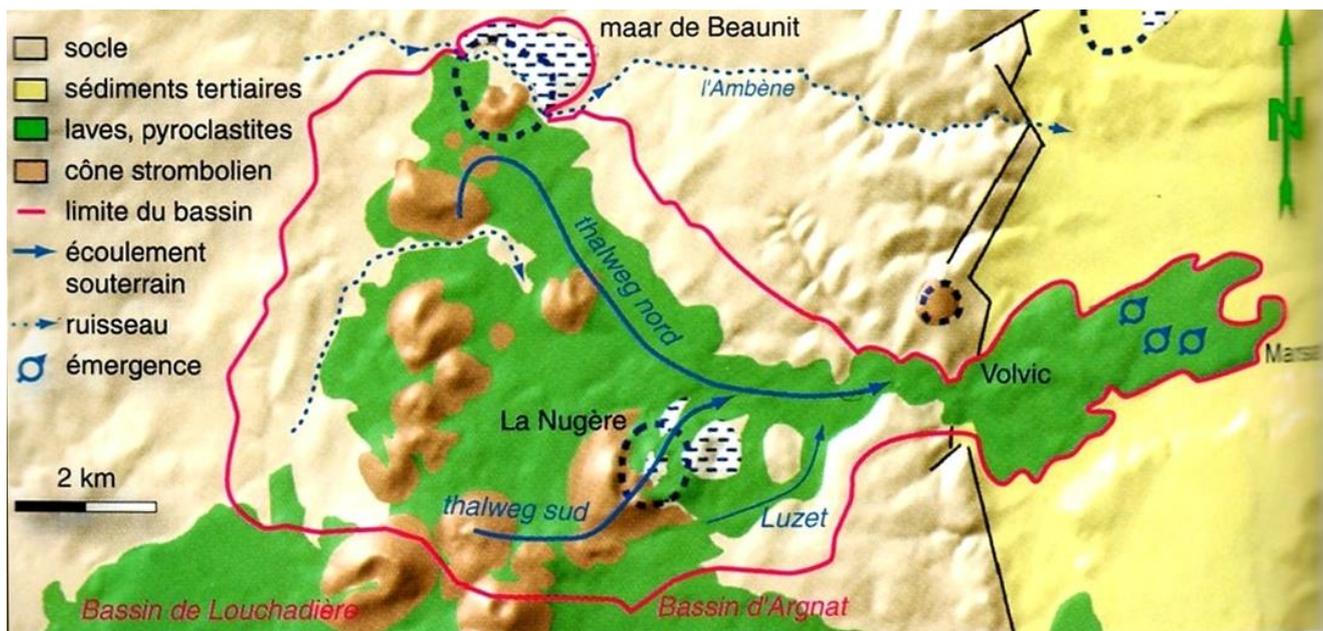


Figure 24. Bassin hydrogéologique de Volvic : principaux écoulements et paléothalwegs.

« Minérale », si l'on peut dire ! Car elle contient 102 mg/l de minéraux là où ses concurrentes affichent des teneurs deux, trois, voire plus de trente fois supérieures, comme en atteste le tableau de la figure 25.

| | Volvic | Plancêt | Vichy célestins | Hépar | Aix |
|------------------------------|------------|------------|----------------------|-------------|------------|
| Minéraux | | | Teneur (mg/L) | | |
| Calcium | 10,4 | 46,8 | 102 | 575 | 83,5 |
| Magnésium | 6 | 8,2 | 9 | 118 | 23,4 |
| Sodium | 8 | 25,9 | 1265 | 12,5 | 3,1 |
| Potassium | 5,4 | 2,9 | 71 | 4,7 | 1,1 |
| Bicarbonates | 64 | 158,6 | 3245 | 376,8 | 337,9 |
| Sulfates | 6,7 | 10,8 | 129 | 1584 | 29,8 |
| Chlorures | 7,5 | 33,3 | 227 | 7 | 2,6 |
| Nitrates | 4 | 10,8 | <0,2 | 1,2 | <0,2 |
| Fluor | 0,21 | - | 5,8 | 0,29 | - |
| Minéralisation totale | 102 | 231 | 3378 | 2780 | 312 |

Figure 25. Composition minérale de différentes eaux minérales. Source (c'est le moment de le dire...) : le Guide du buveur d'eau.

L'eau puisée dans quatre forages par la Société des Eaux de Volvic assure une production supérieure à un milliard de litres par an.

Impossible de conclure sans rendre hommage à nos collègues Dominique Rossier et Daniel Levert, nos vaillants explorateurs, dont le courage et la curiosité ne sont plus à vanter, et qui, il faut le rappeler, tels

leurs grands précurseurs, ont affronté la nature sauvage pour nous frayer un chemin et nous assurer le gîte et le couvert, tous deux d'une excellente qualité, auprès des populations autochtones.

Hommage doit être également rendu à notre vaillant groupe (figure 26) qui, nonobstant le déchaînement d'une nature tempétueuse, est parvenu au terme de cette magnifique aventure.



Figure 26. Le vaillant groupe des géologues excursionnistes de la SAGA sur les pentes du puy de Clerziou. Jean-Louis Fromont prend la photo.