

À la recherche d'un volcanisme original : l'Esterel

Francis Nouyrigat,

membre de la Commission de volcanisme de la SAGA.

(Photos de : Y. Grimault, D. Rossier, F. Nouyrigat, G. Crévola)

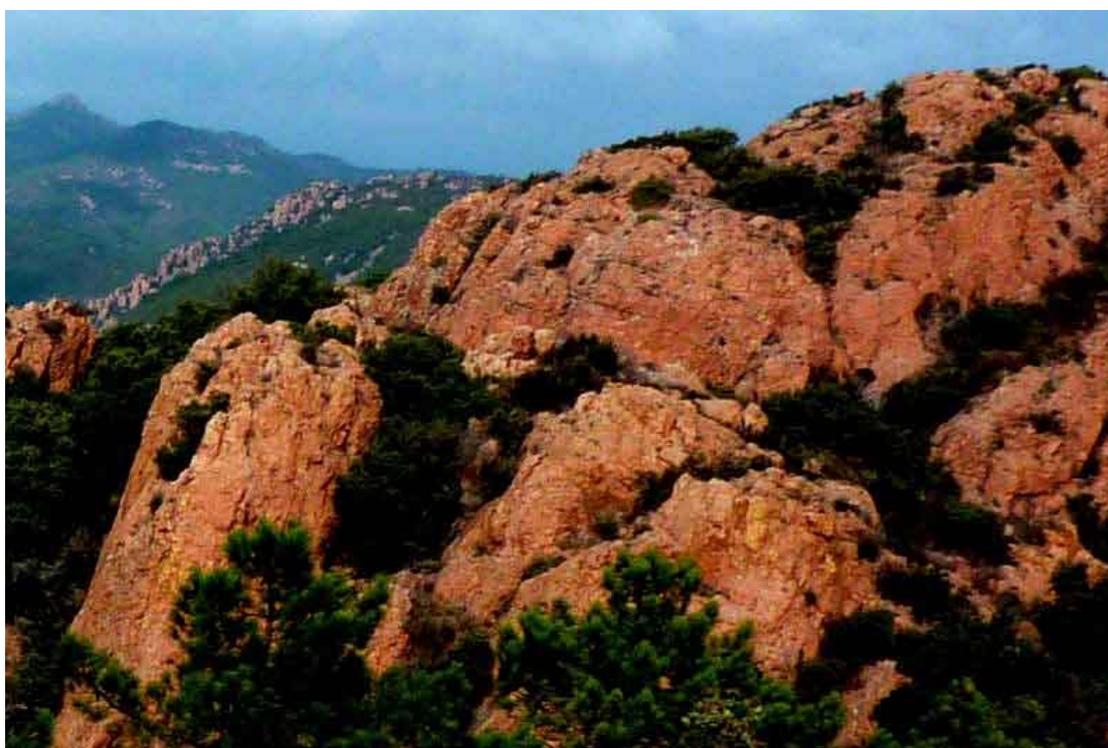


Figure 1. L'Esterel, massif d'amarante.

Lors du voyage d'étude prévu et préparé, en juin 2013 par notre collègue Jean-Marie Cuvelier, puis début octobre par Dominique Rossier, animateur de la Commission de volcanisme de la SAGA, celle-ci a pu découvrir à la mi-octobre une nouvelle région volcanique très différente de celles parcourues jusqu'ici.

Elle est originale, en effet, déjà par l'ancienneté de ses manifestations magmatiques. On ne se trouve plus au voisinage de quelques millions d'années mais au voisinage de 300 millions d'années. Quel saut en arrière ! Originale, aussi, par les laves correspondantes particulièrement riches en silice pour la plupart. Il en résulte des reliefs et des paysages très particuliers (figure 1).

On est à cent lieues des longues et paisibles coulées des Coirons, du Devès, de l'Aubrac ou des planèzes du Cantal. Un premier compte rendu a été rédigé par notre collègue Jacques Vallée [6], mais la richesse d'informations de portée générale que l'on peut tirer de cette visite, ainsi que les photos de lame mince de Dominique Rossier, mérite d'être approfondie.

Un socle ancien particulièrement faillé

Il est intéressant en effet, déjà, par ce que l'on peut y voir sur le plan de la tectonique. L'Esterel se rattache évidemment au socle hercynien (varisque) du Massif

Pangée et tectonique



Figure 2. Le fossé d'effondrement de l'Avellan (au premier plan), perpendiculaire à celui du Reyran vus du mont Vinaigre.

central et de la Corse (qui ne s'en est détachée que relativement récemment, il y a 30 Ma). On y retrouve donc des schistes très anciens et divers plutons de granite et, comme dans tous les massifs hercyniens, des failles et des fossés d'effondrement nord-sud datant du Carbonifère. Mais s'y observent aussi des failles et fossés sensiblement ouest-est du début du Permien.

Le groupe a pu, du haut des divers sommets escadés ([6] le mont Vinaigre, figure 11) et, au cours de ses visites, découvrir ces divers fossés d'effondrement, les multiples dénivellations correspondantes, les dépôts qui s'y sont accumulés ainsi que les nombreuses émissions volcaniques qui ont accompagné ces failles.

Il n'a pu éviter de s'interroger sur cette étonnante cohabitation de fossés d'effondrement quasi perpendiculaires, comme ceux de l'Avellan et du Reyran (figure 2), bien visibles du haut du mont Vinaigre ([6] carte géologique, figure 1)

Revenons 300 Ma en arrière, c'est la grande époque des volumineux dépôts charbonneux d'Europe, dépôts provenant de l'accumulation des déchets des forêts équatoriales (la dérive des continents nous avait placés sous l'équateur) dans des dépressions orientées nord-sud. La dépression de la vallée du Reyran constitue un tel fossé d'effondrement, causé par un relâchement de la compression hercynienne. On y retrouve évidemment des dépôts charbonneux.

Mais, comme signalé ci-dessus, en fin de cycle hercynien, se produisent, après les accidents sensiblement nord-sud, des failles et dépressions orientées presque est-ouest. L'importance du fossé de l'Argens laisse penser à une action tectonique plus que locale. On ne peut s'empêcher de rapprocher à ce point de vue les fossés de l'Argens et de l'Avellan du Déroit de Rodez contemporain et de même orientation. Un début d'explication se trouve dans la notice de la carte géologique de Fréjus. On se trouverait en face d'une distension qui serait liée au début de la dissociation de la Pangée qui verra apparaître la future Téthys.

Les dépôts sédimentaires permien

Si le fossé du Reyran a recueilli des dépôts dès le Carbonifère, les fossés de l'Avellan et de l'Argens (figure 3) ont accumulé d'épais dépôts de sédiments permien reconnaissables à la teinte rouge que leur donne l'oxydation du fer, favorisée par le climat très chaud. Ils sont témoins de la violence des précipitations et de l'érosion qui découlaient du climat équatorial et de l'important relief.

Il y a eu des périodes d'entraînement de gros galets et des périodes intermédiaires moins violentes, ce qui se traduit sur le terrain par des alternances de lits plus ou moins grossiers

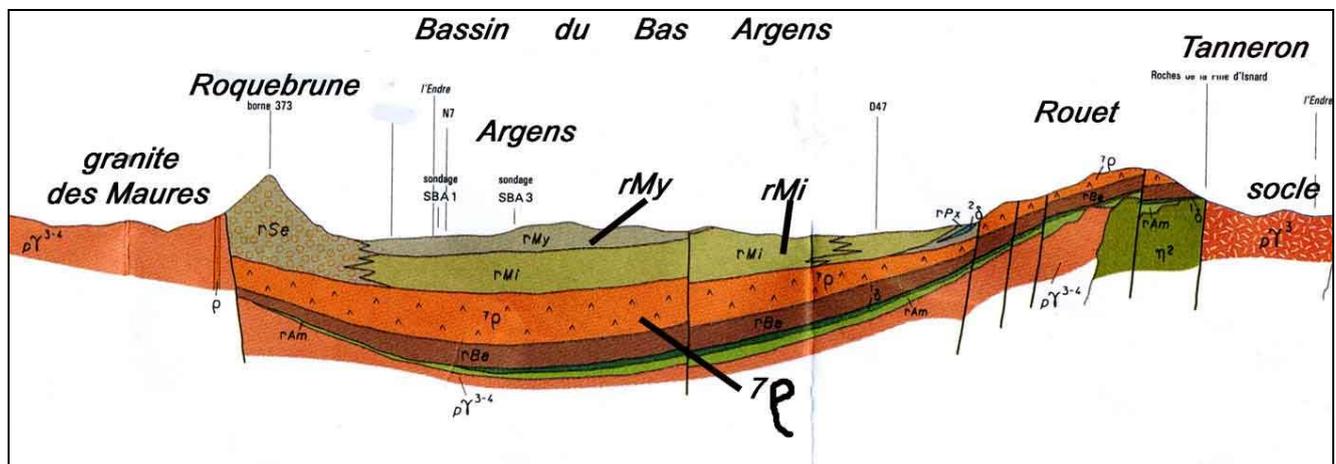


Figure 3. Coupe nord-sud du bassin du Bas Argens, entre Roquebrune et Le Rouet.

Enfin, la séparation des fines (pélites) par l'entraînement à distance a apporté une autre cause de variabilité des dépôts.

Rien d'étonnant donc à retrouver toutes sortes de roches différentes allant des grès fins, fort utilisés pour les constructions, à des masses parfois importantes d'éboulis grossiers. Mais près de 300 Ma d'érosion n'ont laissé subsister qu'une faible partie de ces dépôts en favorisant les plus consolidés. C'est le cas du Rocher de Roquebrune, vestige d'un cône d'éboulement qui se trouvait à la base de la falaise granitique créée par la faille ouest de la dépression de l'Argens. La présence de nombreux galets de ce même granite dans ce conglomérat le prouve ([6] figures 13 et 14).

Le Rocher de Roquebrune est un excellent exemple de l'importance de la consolidation d'un éboulis qui donne, dans les temps géologiques, une résistance à l'érosion bien supérieure à celle du granite d'origine qui le surmontait de beaucoup. Ce n'est qu'à l'arrière du Rocher que l'on peut deviner la faille sud du fossé de l'Argens séparant granite et rougier permien : on voit clairement que le massif de granite n'a pas mieux résisté à l'érosion que le dépôt permien, contrairement au cas de l'ancien cône d'éboulement de Roquebrune qui les surmonte maintenant en inversion de relief.

Couleur des roches et valence du fer

Les paysages de l'Esterel laissent inmanquablement en mémoire cette profusion de roches d'un rouge éclatant, dénommées « amarante », ou porphyre rouge, pour certaines d'entre elles. Par endroit, de plus, on peut observer des teintes verdâtres et, bien sûr, le rose foncé des dépôts permien, partout présents, sur le terrain et dans les constructions. Cette profusion de couleurs (figure 4) est due aux divers états d'oxydation



Figure 4. Fer et colorations des roches :
1, esterellite bleutée ; 2, ignimbrite amarante ;
3, bloc finement lité de rhyolite fluidale.

du fer lorsqu'il n'est pas masqué dans des silicates, rouge pour le fer ferrique (Fe^{+++}), verdâtre pour le fer ferreux hydraté (Fe^{++}), que l'on retrouve dans les sédiments anoxiques.

On remarque bien l'accentuation de la teinte rouge pour les roches ayant un rapport Fe^{+++}/Fe^{++} élevé (du rouge au rose pâle) ; on note dans l'ordre : Batterie des Lions, avec quatre fois plus de Fe^{+++} que le sommet du mont Vinaigre et pratiquement que des traces de fer ferreux ; rhyolite ignimbrétique, avec un rapport Fe^{+++}/Fe^{++} voisin de 5 ; autres coulées du mont Vinaigre, avec un rapport voisin de 2. L'esterellite, elle, ne présente qu'un rapport Fe^{+++}/Fe^{++} de l'ordre de 1 (de plus, le fer est masqué dans des silicates).

Ignimbrite

L'ensemble des laves acides de l'Esterel a été émis entre - 280 et - 250 Ma et présente une teneur en silice variant entre 75 % et 80 % (ce sont toutes des rhyolites). Ce faible écart de la teneur en silice a cependant joué un rôle important dans le comportement des émissions.

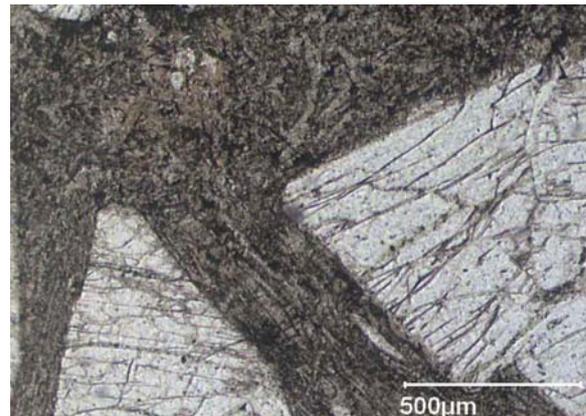


Figure 5. Micro-aiguilles de ponce dans une ignimbrite, d'après Crévola.

Les plus riches sont les ignimbrites, dont le nom intègre la notion de feu et de débris. Ce nom découle de la découverte, vers 1960 (Rutten [1]), qu'il ne s'agit pas de vraies coulées de lave liquide (elle était trop visqueuse) mais de coulées d'un aérosol ardent déferlant bien plus rapidement qu'une lave mais capable, une fois déposé, de se compacter suffisamment avant solidification complète pour permettre une prismation grossière. En fait, l'émission s'est faite sous la forme d'une mousse de lave qui, en se solidifiant partiellement en ponce et en se brisant, forma un véritable aérosol capable de s'écouler en nuée ardente.

La texture vitroclastique apporte la preuve de ce mécanisme : micro-aiguilles de verre résultant de l'éclatement des bulles de ponce de la mousse initiale (figure 5).

L'émission d'ignimbrite représente la très grande partie des émissions de rhyolite de l'Esterel (au moins 90 %). Elle a été très importante si on la compare à d'autres émissions semblables dans le monde. Le total de celle qui a constitué la Vallée des dix milles fumées, en Alaska, si renommée, est de l'ordre de 13 km³ seulement contre plus de 85 km³ pour l'Esterel, et une vingtaine pour la nappe de ponce du Mont-Dore ! Il faut penser aux émissions de la Cappadoce pour retrouver des volumes d'ignimbrites plus grands.

C'est cette ignimbrite qui, constituant l'essentiel des roches volcaniques de l'Esterel, lui donne son cachet si particulier. Elle recouvre pratiquement en surface ou en profondeur la presque totalité de cette région et se retrouve même plus loin vers l'ouest jusqu'aux environs du Luc.



Figure 7. Les volumineux dépôts de rhyolite de Cappadoce (Turquie).

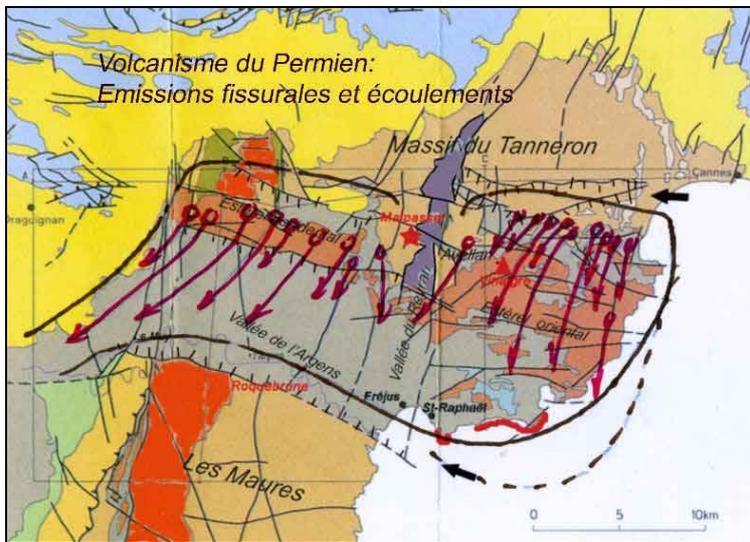


Figure 6. Volcanisme du Permien : grande extension des nappes d'ignimbrite et leurs sources.

Les émissions sous forme fissurale étaient surtout concentrées au nord du massif et le long de la grande faille bordant au nord la dépression de l'Argens (figure 6).

C'est ainsi que, comme déjà indiqué, on trouve, sous les dépôts de rougier permien de l'Argens, une importante couche d'ignimbrite (voir figure 3). En fait, les sondages effectués près du Muy ont montré que cette couche était elle-même un véritable millefeuille de cinq « coulées » d'ignimbrite alternant avec des sédiments permien.

Un tel volume de laves aussi chargées en silice semblait difficilement explicable par une simple différenciation de lave du manteau.

La conclusion de l'étude publiée, en 1998, par Poitrasson et Pin [4], apporte une réponse : « les rhyolites de l'Esterel n'ont pas de relation avec le volcanisme basique mais proviennent du mélange d'un magma évolué dérivé du manteau et d'un magma issu de la

fusion de la croûte... ». Cette étude montre par l'analyse des terres rares* que cette contamination s'est produite au niveau du bas de la croûte terrestre.

Les 300 Ma d'érosion ont déshabillé les reliefs restés à nu. La dureté de la roche a favorisé la formation de paysages ruiniformes qui parfois présentent un semblant de périodicité comme au Rastel d'Agay dont les aiguilles justifient le nom (« râteau » en occitan : notez le « s » de Rastel annonçant l'accent circonflexe !).

On ne peut terminer cet exposé sur l'ignimbrite sans se poser la question : pourquoi cette lave très différenciée a conservé une telle teneur en fer ? Celui-ci aurait dû être éliminée par les cristallisations fractionnées dans la chambre magmatique comme cela est généralement le cas à ce niveau d'évolution du magma, comme, par exemple, pour la ponce fibreuse du Mont-Dore et les immenses dépôts de Cappadoce (figure 7).

La réponse est probablement liée au fait qu'il y aurait eu peu de différenciation après le mélange avec la croûte siliceuse.

Un volcan très particulier : le mont Vinaigre

Bien que ne représentant qu'une faible partie des émissions volcaniques de l'Esterel, le mont Vinaigre que nous avons escaladé ne manque pas d'intérêt. C'est tout d'abord le point culminant de la région, ce qui offre, du sommet, des vues incomparables tout alentour (figure 8).

Lors de l'ascension, on rencontre la succession de trois coulées de rhyolites séparées par des couches bréchiques, constituées de projections correspondant aux déboussages de la cheminée avant chaque nouvelle coulée. Ces coulées présentent des compositions chimiques très voisines mais couvrent toute la gamme des rhyolites de l'Esterel, avec des teneurs en SiO₂ allant de 75,3 à 80 % ; cela suffit pour modifier leur mode d'émission.



Figure 8. Vue vers le nord, sur le mont des Adrets, depuis le mont Vinaigre.

La première coulée rencontrée est l'ignimbrite dont nous venons de parler, la plus riche en SiO_2 (80 %), formant des simili-coulées d'aérosol ardent se compactant avant solidification complète (figure 9).



Figure 9. « Coulée » d'ignimbrite au mont Vinaigre.

Suit une couche de brèches correspondant aux projections explosives du débouffrage de la cheminée en début de nouvelle émission. Elle montre de gros blocs de rhyolite massive semblable à celle que l'on retrouvera au sommet et au-dessus des projections de cendres : pulvérisation de la lave par la libération des gaz après l'ouverture de la cheminée ([6] figure 12).

Lui succède une nouvelle émission, moins chargée en silice (75,3 %), avec une texture très particulière expliquée par une mise en place tout à fait originale. Très massive, car moins chargée en silice donc moins visqueuse que l'ignimbrite, elle présente cependant une multitude d'inclusions allongées de dimensions très variables que l'on a assimilé à la forme de flammes, d'où le nom de « rhyolite flammée » relayé par « piperno » (figure 10).



Figure 10. Les petites « flammes » du piperno, de teinte claire sur la photo.

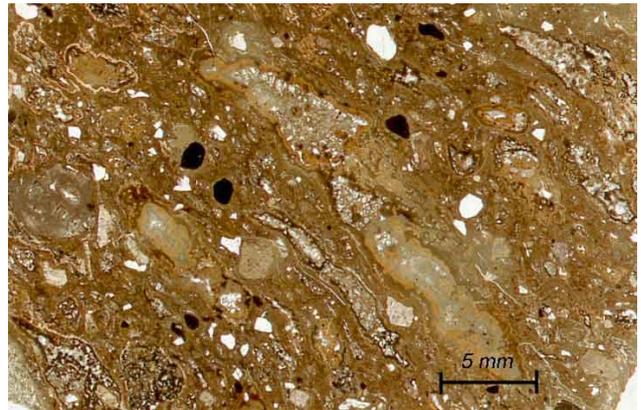


Figure 11. Flammes vues en lame mince : des bulles de ponce étirées.

Ces flammes sont le plus souvent inférieures au centimètre mais peuvent dépasser plusieurs centimètres. Les microphotos (figure 11) montrent qu'il s'agit de bulles de ponce étirées. On explique cette morphologie par la retombée d'une pluie de projections de grosses gouttes dues à un dégazage violent de la lave et qui, en tombant sur la coulée émise simultanément, ont gardé leur individualité. Cette lave compacte donne lieu à une prismation verticale, démontrant ainsi qu'il y a eu écoulement en surface (figure 12).



Figure 12. Prismation verticale d'une coulée de piperno.

On retrouve ensuite un autre niveau de brèches de débouillage, sur tout le sommet, essentiellement constituées de projections de débris soudés à chaud en tuf pyroclastique bien consolidé auquel l'érosion a donné un aspect ruiniforme (figure 13).



Figure 13. Brèches ruiniformes au sommet du mont Vinaigre.

Il ne restait plus qu'à traverser une faille normale pour trouver le dôme sommital et la dernière couche de rhyolite : la rhyolite fluidale dénommée aussi pyroméride. Cette rhyolite forme un dôme de lave où l'on repère facilement la direction d'écoulement d'ensemble mais aussi des changements de direction ponctuels typiques de l'écoulement d'un liquide visqueux (figure 14).



Figure 14. Écoulement de la pyroméride avec formation d'un pli.

Le sommet de l'émission de lave liquide est indiqué par la direction verticale des orgues prismatiques bien formées.

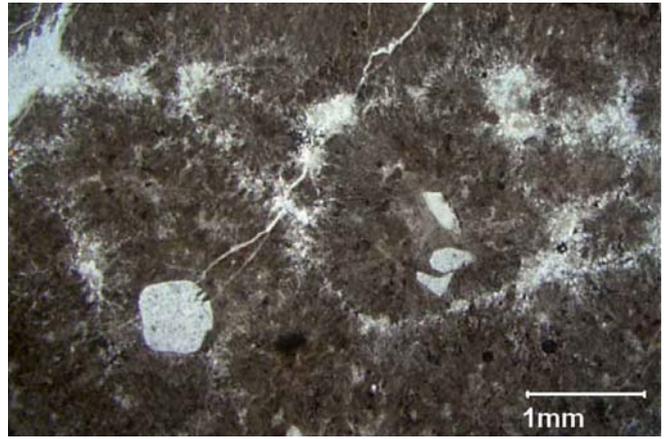


Figure 15. Sphérolites, amorces de cristallisation, d'après Crévola.

L'examen microscopique de cette roche montre la présence d'amorce de cristallisation rayonnant en aiguilles de sa phase amorphe, les sphérolites (figure 15) que l'on retrouve bien sur le cliché de Dominique Rossier (figure 16).

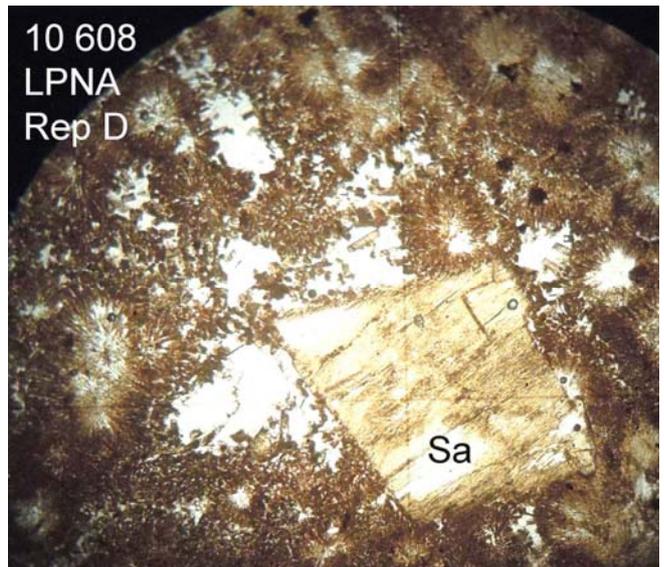


Figure 16. Microphotographie de sphérolites de silice (LPNA, cliché Dominique Rossier).

Le mécanisme de formation de ces sphérolites de silice faisait l'objet d'un consensus que l'on retrouve dans la notice de la carte géologique publiée en 1994 : amorces de dévitrification, au cours du temps, de la roche solidifiée, de type verre obsidienne.

Une réflexion pluridisciplinaire a conduit à contester cette hypothèse (une fois amorcée, une dévitrification ne s'arrête pas sans trempe). La découverte de la publication de Crévola, de 2010 [5], qui indique qu'il s'agit de germes de cristallisation au sein de la lave fondue, a levé cette interrogation. Cette amorce de dévitrification se produit en effet dans des conditions très particulières. Il faut que la lave visqueuse soit en

surfusion près de la température de transition vitreuse, soit entre 750 et 850 °C. Au-dessus, l'agitation des atomes (ou ions) est trop grande pour permettre leur fixation, au-dessous, leur déplacement ne permet pas une probabilité de rencontre suffisante avec les amorfes de cristaux.

Ce processus permet d'expliquer l'étonnante morphologie que révèlent les lames minces. Les stries et les volutes de la rhyolite fluidale visibles à l'œil nu se retrouvent au niveau microscopique. On y devine des écoulements de couches individualisées par des viscosités différentes (liées à des différences de températures car on est dans les conditions adiabatiques d'un milieu peu conducteur). Se trouvant au voisinage de la zone de transition, on a donc tantôt apparition de sphérolites, tantôt absence de ceux-ci.



Figure 17. Microphotographie montrant l'alternance de veines, avec et sans sphérolites.

Esterellite

La roche au fond vert bleuâtre, l'esterellite, s'observe dans la partie centrale de l'Esterel où elle fait l'objet depuis toujours d'exploitation en carrière. Elle doit sa teinte à un rapport Fe^{+++}/Fe^{++} voisin de 1 seulement et à une probable immobilisation du Fe^{+++} dans des cristaux de silicates (voir figure 4).

Il s'agit d'une lave solidifiée avant son effusion à l'air libre : c'est en fait la trace d'un volcan avorté. Déjà relativement riche en silice (plus de 60 %), cette lave relativement récente (entre - 50 à - 35 Ma) est liée au bouleversement tectonique de la collision alpine. La présence de nombreux phénocristaux de plagioclase a certainement aggravé sa viscosité déjà pas négligeable car la teneur en silice de la partie liquide était donc très supérieure à celle donnée par

l'analyse de la roche (qui prend en compte les cristaux).

C'est, avec probablement une alimentation insuffisante, la cause de l'avortement du volcan qui s'est limité au stade d'un laccolite que l'érosion a mis à jour. Bloquée dans celui-ci, la lave a cependant peu à peu infiltré les diverses fissures des roches encaissantes d'où de nombreux filons latéraux observables notamment sur la côte. À la pointe de Pierre Blave, diverses esterellites permettent de bien visualiser l'écoulement par l'orientation des gros cristaux de plagioclase (figure 18) ou des aiguilles d'amphibole (figure 19).

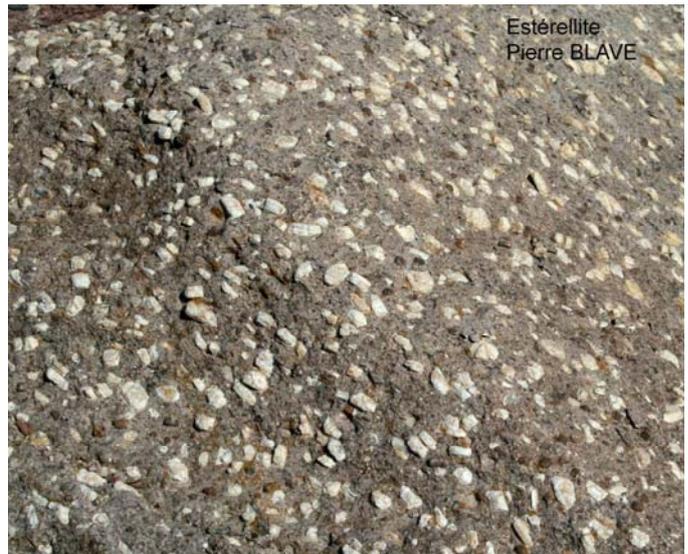


Figure 18. Esterellite. Structure fluidale : cristaux blancs de plagioclase orientés.



Figure 19. Esterellite. Structure fluidale : aiguilles noires d'amphibole orientées.

L'orientation de ces cristaux exige une dépense d'énergie ce qui se traduit forcément par une augmentation de la viscosité globale.

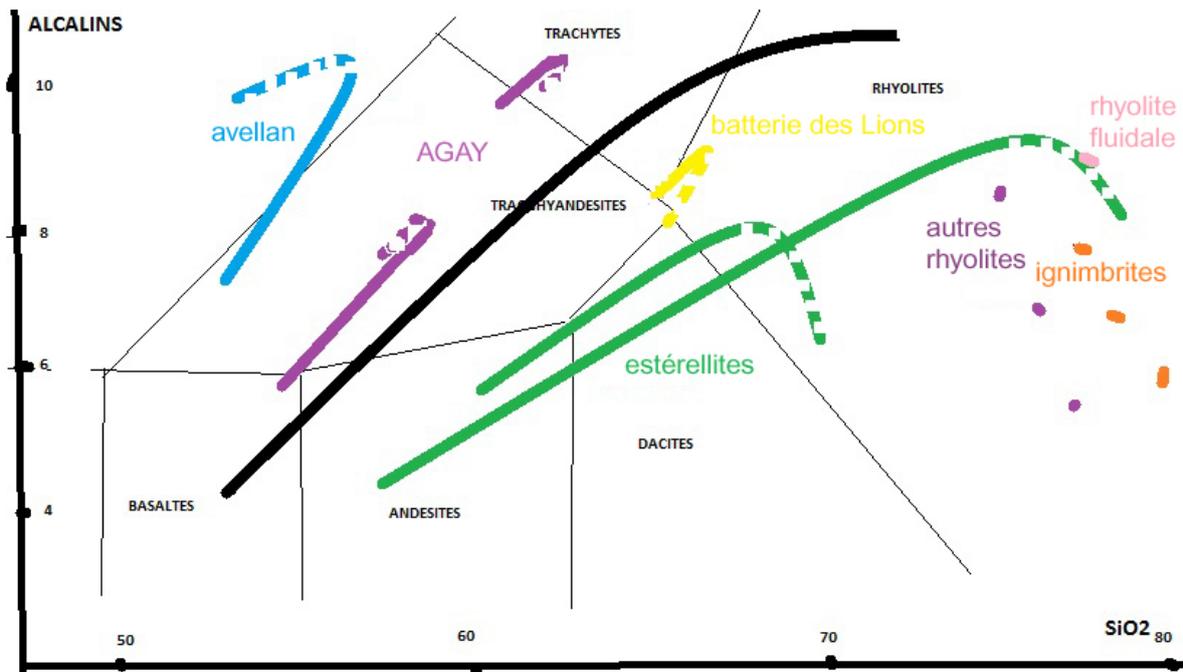


Figure 20. Le diagramme TAS (pour Total Alkali Silica) permet de définir une roche volcanique par sa composition chimique globale

Position des laves sur le graphique Alcalins/SiO₂

Cette proximité de divers types de laves est l'occasion de les comparer et de les situer sur le classique graphique TAS : % Alcalins/% SiO₂, que l'on a l'habitude de consulter lors de toutes nos excursions volcaniques.

Ont été introduites dans le graphique les sept rhyolites (rhyolite fluidale, trois ignimbrites, trois autres rhyolites) dont la notice du BRGM donne la composition, ainsi que deux esterellites, le trachyte de la Batterie des Lions, et trois laves alcalines : le basalte de l'Avellan et des deux coulées d'Agay. A été par ailleurs calculée l'évolution théorique de la roche fondue par cristallisation fractionnée des silicates magnésiens et ferreux puis de plagioclase, d'abord calcique, puis de l'albite (en pointillé). En réalité, on passe en général par des cristallisations plus ou moins mixtes.

Il apparaît que les rhyolites sont à leur stade ultime de différenciation. Cela est confirmé en microphotographie de lame mince où l'on détecte des cristaux de feldspath potassique et de quartz qui sont les derniers à cristalliser.

Pour les autres laves, l'interprétation des analyses peut être plus complexe. En effet, l'analyse chimique incluant les cristaux déjà formés avant l'émission, on ne sait pas où se situe le point représentant l'évolution de la lave liquide (composition de la mésostase). Dans le cas de l'esterellite, par contre, la forte proportion de

cristaux de plagioclase montre que le liquide devait être proche du haut de la courbe tracée.

L'ensemble des laves de l'Esterel met clairement en évidence les différentes possibilités d'évolution des magmas suivant que l'on se trouve d'un côté ou de l'autre de la série moyennement alcaline. Il montre aussi l'importance des éléments non pris en compte dans le graphique, surtout du calcium auquel est grandement liée la latitude de différenciation possible.

Cette présentation de plusieurs laves montre qu'un point du graphique TAS (donné par l'analyse chimique) peut correspondre à des roches très différentes en structure et en histoire. C'est ce qui explique que, indépendamment des noms des cases du TAS, on éprouve le besoin de dénominations complémentaires locales plus caractéristiques.

Sur la côte : accumulation de curiosités

Indépendamment de la Batterie des Lions ([6] figure 2), le crapahutage le long de la côte par le sentier des douaniers, malheureusement fort maltraité par les emprises privées, mérite les efforts correspondants par la multitude d'observations que l'on peut y faire.

Depuis Boulouris jusqu'à la pointe de Pierre Blave, la presque totalité des diverses formations géologiques de l'Esterel s'offre au regard dans un étonnant mélémélo. On y retrouve même la trace d'une des rares émissions basiques de la région : une brîbe de coulée d'hawaïte ([6] figure 5) ; les vestiges d'un écoulement de boues fossilisé (lahar, figure 21) ; des bombes



Figure 21. Lahar : écoulement de boue de sédiments permien fossilisé.

volcaniques en « bouse » sur tuf hawaïen, témoins avec l'hawaïite d'un ancien petit volcan aujourd'hui sous la mer en face d'Aigue Bonne. Son emplacement a été immergé, il y a 20 Ma, par un basculement de cette partie de l'Esterel.

Le tout est plus ou moins imbriqué dans les divers étages des formations sédimentaires permienues.



Figure 22. Bombe volcanique en forme de « bouse » sur un tuf d'hawaïite.

Épilogue

Une fois de plus, l'approfondissement de cette visite montre clairement que l'ouverture tous azimuts de la réflexion, et l'apport de la pluridisciplinarité, sont essentiels pour retirer de chaque observation le maximum d'information et d'explication. On ne saurait trop insister sur cet aspect essentiel à l'avancée des connaissances.

(*) *Les multiples utilisations de l'analyse des terres rares, soit pour dater les plus vieilles roches de la croûte terrestre, soit pour dater des massifs ou des roches plus récentes, soit enfin pour comparer magma,*

croûte et manteau, mériteraient un exposé à elles seules. Les terres rares ont en effet plusieurs avantages majeurs : 1, leurs composés ayant une très faible solubilité ne voient pas leur distribution perturbée par l'action de l'eau sur les roches ; 2, bien que constituant un groupe couvrant une large gamme de rayon ionique (jusqu'à 20 % d'écart), leurs propriétés chimiques sont très voisines, ce qui évite divers artefacts susceptibles de perturber les enrichissements liés aux différences de compatibilité ; 3, il existe (ou existait) plusieurs isotopes radioactifs à très longue vie utilisables pour diverses datations.

Bibliographie (très partielle)

- [1] RUTTEN M. G. (1959) – Ignimbrites permienues de l'Esterel. C. R. Som. SGF. p. 168-169.
- [2] POITRASSON F. (1994) – Thèse sous la direction de PIN Ch. Université de Clermont-Ferrand.
- [3] POITRASSON F., PIN Ch. – Immobilisation des terres rares et leur effet sur les isotopes du néodyme des rhyolites. Earth Planet SC. Lett. 130, p. 1/11.
- [4] POITRASSON F., PIN Ch. (1998) – *Extreme Nd isotopic homogeneity in large rhyolite*. Bull. volc. 60, p. 213-223.
- [5] CRÉVOLA G. (21.12.2010) – Le Volcanisme rhyolitique du massif de l'Esterel : évolution des connaissances. En hommage au professeur Marc Boucarut, Institut EGID. Université de Bordeaux 3. Notice de la carte géologique Fréjus-Cannes.
- [6] VALLÉE J. (mars 2014) – Excursion dans l'Esterel. *Saga Information* n° 335, p. 7-13.

L'ours qui cachait l'homme, une histoire d'ADN ancien

Joseph Marchand, membre de la SAGA.

L'annonce faite fin septembre 2013 du séquençage du génome d'un ours daté de 300 000 ans [1] a provoqué une vague d'étonnement et d'intérêt dans le monde des amateurs de fossiles. Le titre de l'article précise qu'il s'agit en fait d'une reconstruction de génome mitochondrial à partir de fragments très courts d'ADN.

L'ours en question, *Ursus deningeri*, ancêtre de l'ours des cavernes, et son collègue l'ours brun *Ursus arctos*, sont des classiques de la faune du Pléistocène moyen.

Ils sont présents à Tautavel, et Henry de Lumley dans « *La grande Histoire des premiers hommes européens* » [2] décrit également le site d'Atapuerca, d'où est extrait l'os utilisé dans la publication. Ce fossile n'est pas particulièrement précieux, les