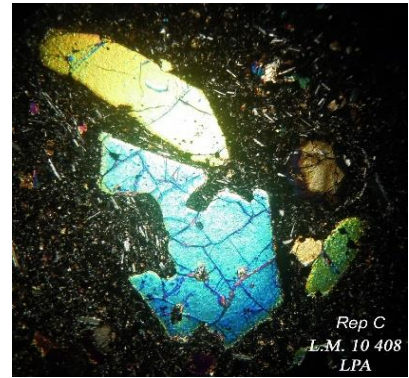




Atelier de pétrographie



ATLAS PETROGRAPHIQUE

Etude des roches magmatiques et métamorphiques par l'examen de lames minces au microscope polarisant

NOTICE DES ROCHES VOLCANIQUES

Dominique Rossier

Danielle Piaud

Roland Maherault

Hélène Quéré

Dernière mise à jour le 3 février 2025

Table des matières

Introduction.....	3
Tableau récapitulatif des « minéraux des roches » volcaniques	3
Le massif des Monts Dore	5
La Banne d'Ordanche	5
Fontsalade, Sanadoire et col de Guéry	6
Grande cascade, massif du Sancy et Chaudefour	7
Bibliographie.....	7
Le massif de la Chaîne des Puys	8
Classement par unité géologique et géographique.....	8
La série pétrographique de la Chaîne des Puys, une série alcaline	9
Bibliographie.....	10
Le massif de l'Estérel	11
Introduction.....	11
Le volcanisme permien.....	11
Localisation des prélèvements	11
Singulières rhyolites ignimbrtiques et rhyolites fluidales : comment les caractériser ?.....	16
Série volcanique alcaline du Permien de l'Estérel	19
L'hypovolcanisme de l'Eocène, l'estérellite	20
Bibliographie.....	21
Le strato-volcan du Cantal.....	22
1 – Introduction.....	23
2 - Lignes directrices et limites de l'atlas.....	23
3 - Présentation en 7 grandes périodes, dites phases.....	28
4 - Bibliographie.....	40

Introduction

Cette notice regroupe les éléments nécessaires à l'utilisateur pour la compréhension des observations des lames minces des roches volcaniques :

- Des éléments communs à tous les massifs volcaniques visités.
- Des éléments spécifiques à chacun des massifs visités : Aubrac, Cantal, Devès, Monts Dore, Coiron, Chaîne des Puys, Estérel, Chenaillet.

La présente version du document concerne le massif des Monts Dore, la Chaîne des Puys et l'Estérel.

Tableau récapitulatif des « minéraux des roches » volcaniques

Pour un massif donné, ce tableau récapitule les lames minces du massif : le N° de la lame, le lieu de prélèvement, la nature de la roche, les minéraux observés et la série de la roche. L'extrait ci-après du tableau des Monts Dore illustre ce principe.

N° lame	Lieu de prélèvement	Roche	Minéraux observés										Série
			Si	F.A	Pl	Foï	Ol	Cpx	Opx	Amp	Bt	M.A.	
10401	Banne d'Ordanche – lac de la Cabane	Basalte	-	-	an+	X	X	X	-	-	-	X	SMA

A noter les particularités suivantes :

- Une notice peut regrouper la description de plusieurs lames “quasi-identiques” de la même roche, disponibles pour un travail en atelier. Exemple : la notice de la lame 10431 décrit les lames 10431, 10432, 10433.
- Il peut arriver également qu'une lame soit mentionnée plusieurs fois dans le tableau, si des roches différentes y apparaissent, nécessitant des descriptions distinctes (dans le cadre d'un mélange de magmas par exemple). Exemple : la notice de la lame 10440 décrit deux zones A et B qui n'ont pas les mêmes minéraux.

Le tableau est renseigné selon la légende suivante :

- **Rubriques « minéraux observés »**

Ces rubriques sont remplies par des **X** si les minéraux correspondants ont été observés au microscope. En l'absence de ces minéraux, on laisse un blanc.

Seuls les plagioclases font l'objet d'une précision (an+ ou an-) **le seuil étant 50% d'anorthite**. (cas exceptionnel : An ? si la composition des plagioclases n'a pu être déterminée).

Si : présence détectée de silice libre, c'est-à-dire de cristaux de quartz, de cristobalite ou de tridymite.

F.A. : feldspath potassique (ex. : sanidine).

Pl : plagioclases. La composition des plagioclases observés, si elle est déterminée par une mesure de Michel-Lévy, n'apparaît que dans la **fiche descriptive**. Dans le tableau, on indique l'un des trois critères suivants : an+, an- ou an? (quand la présence de plagioclases est avérée, mais qu'on n'a pas pu les identifier).

Foï : feldspathoïdes. La nature des feldspathoïdes observés n'apparaît que dans la **fiche descriptive**.

OI : olivine.

Cpx : clinopyroxène. La variété éventuellement observée (exemples titano-augite, salite) n'apparaît que dans la **fiche descriptive**.

Opx : orthopyroxène.

Amp : amphibole. La variété éventuellement observée n'apparaît que dans la **fiche descriptive**.

Bt : biotite. La variété éventuellement observée n'apparaît que dans la **fiche descriptive**.

M.A. : minéraux accessoires. La nature des minéraux accessoires observés n'apparaît que dans la **fiche descriptive**.

Remarque : les **altérations** sont reportées uniquement dans la **fiche descriptive**.

- **Rubriques série et nature**

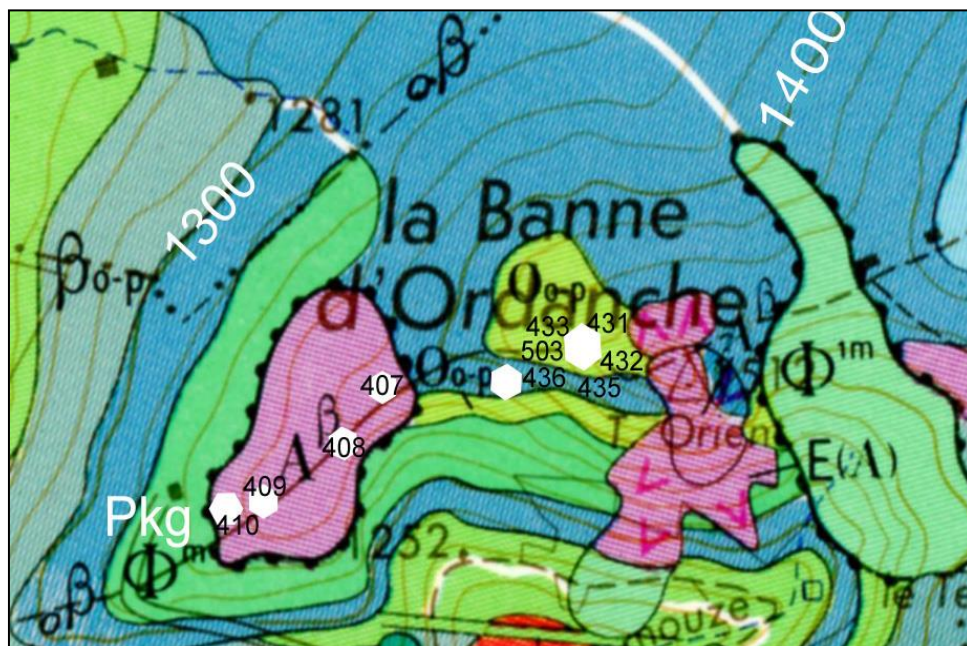
On inscrit dans ces rubriques les codes de la série et de la nature de la roche volcanique.

Série		Nature de la roche
SHA	Hyperalcaline	Bn : basanite, Tp : téphrite, Phtp : phonotéphrite, Tpph : téphri phonolite, Ph : phonolite
SMA	Moyennement alcaline	Ba : basalte, Ha : Hawaïte (ou trachy basalte), Mu : Mugéarite (pour trachy andésite), Ben : benmoréite (pour trachyte), Ak (pour ankaramite)
SCA	Calco-alcaline	Ba : basalte, Ba-And : basalte andésitique, And : andésite, Da : dacite, Rhf : rhyolite fluidale, Rhi : rhyolite ignimbrétique, Rhp : rhyolite piperno
STh	Tholéitique	Ba : basalte, Ba-And : basalte andésitique, And : andésite, Da : dacite, Rh : rhyolite

On exclut les appellations à caractère local telles, domites, sancyites etc. Elles sont cependant signalées dans la fiche descriptive.

Le massif des Monts Dore

La Banne d'Ordanche



Extrait de la carte BRGM N° 716 au 1 / 50 000 - Bourg Lastic

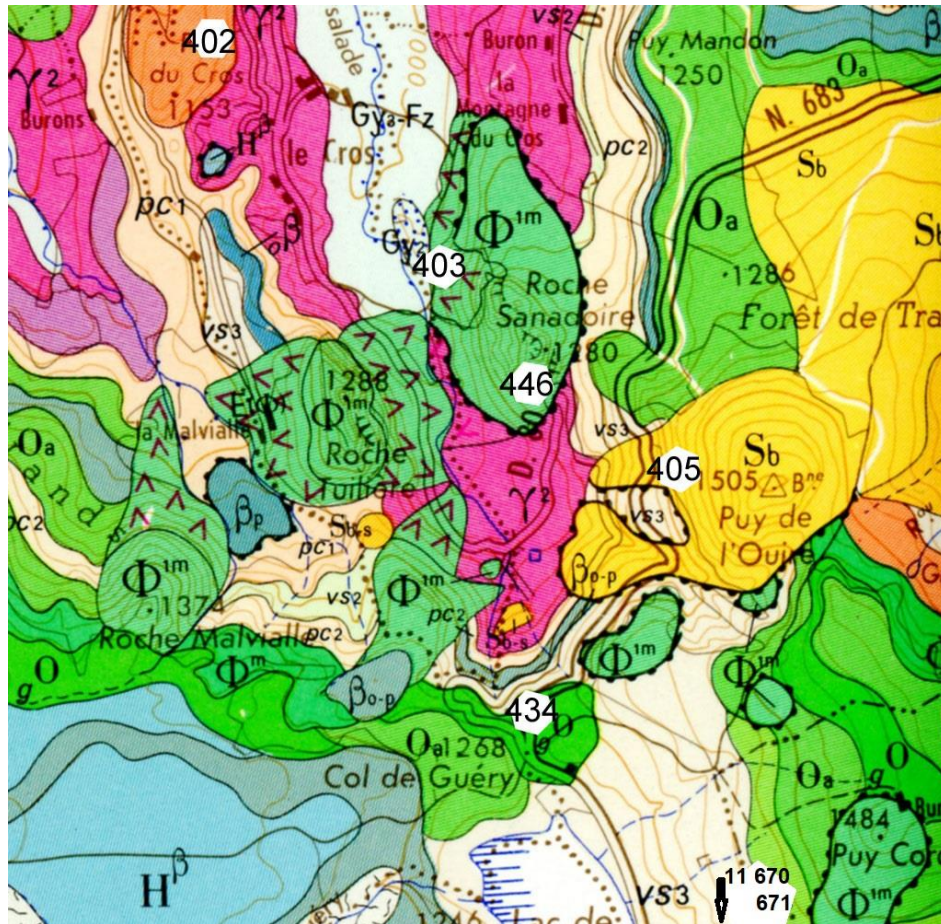
Ankaramites à la montée depuis le parking (pkg) jusqu'au pylône (L.M. 10407, 10408, 10409, 10410).

Basaltes demi-deuil (L.M. 10435, 10436).

Ordanchites (L.M. 10431, 10432, 10433, 10503)

Pas de prélèvement dans les ankaramites du sommet de la Banne (1512 m).

Fontsalade, Sanadoire et col de Guéry



Extrait de la carte BRGM N° 716 au 1 / 50 000 - Bourg Lastic

Trachy-phonolite leucocrate, myaskitique de la Sanadoire : L.M. 10403, 10446.

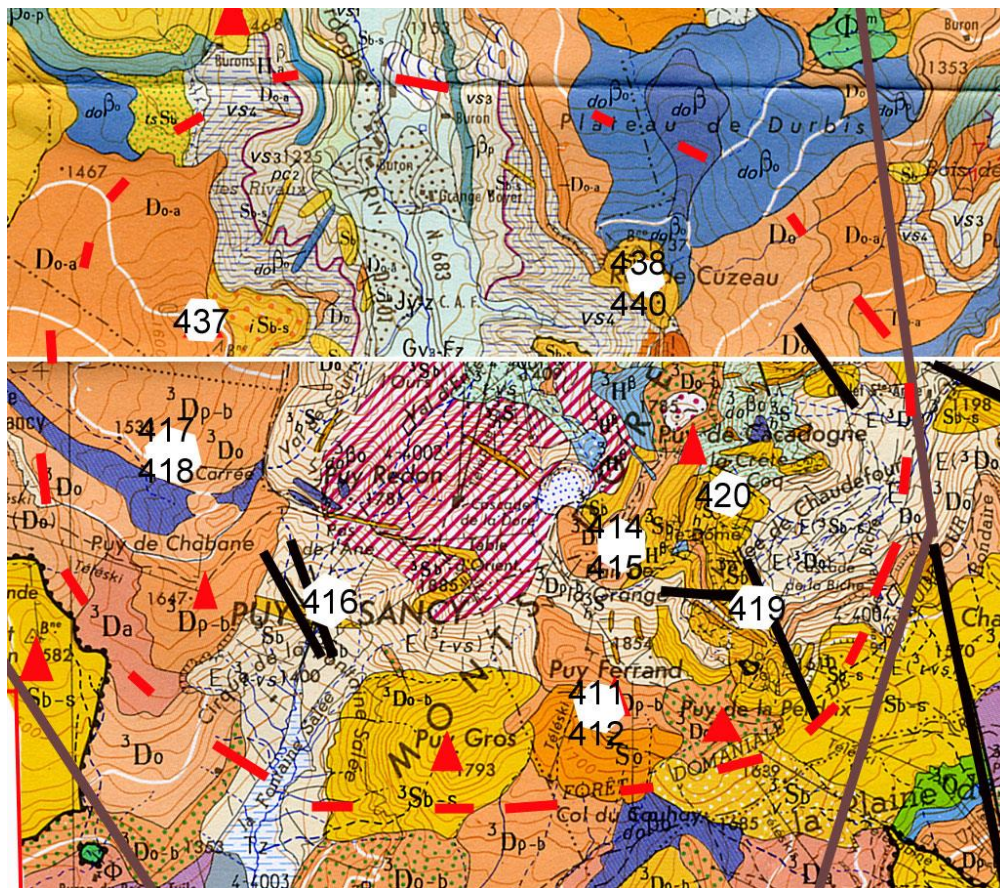
Mugéarite saturée, doréite, de la coulée du Puy du Cros : L.M. 10402.

Basalte hyaloclastique, col de Guéry : L.M. 10434.

Basalte demi-deuil, proximité est lac de Guéry ; LM 11670, 11671

Benmoréite saturée, sancyite, du Puy de l'Ouire : L.M. 10405.

Grande cascade, massif du Sancy et Chaudefour



Extrait de la carte BRGM N° 740 au 1 / 50 000 – La Tour d'Auvergne

Mugéarite saturée, doréite, Gde cascade (en mélange), Mt Ferrand, Plan de la Grange, vallée de la Courre : L.M. 10440, 10412, 10414, 10415, 10417.

Benmoréite saturée, sancyite, Gde cascade, vallée de la Courre, Puy de Sancy : L.M. 10438, 10440, 10418, 10437, 10416.

Bibliographie

Carte et notice géologique du BRGM N° 716 au 1 / 50 000 - Bourg Lastic pour le Nord du massif.

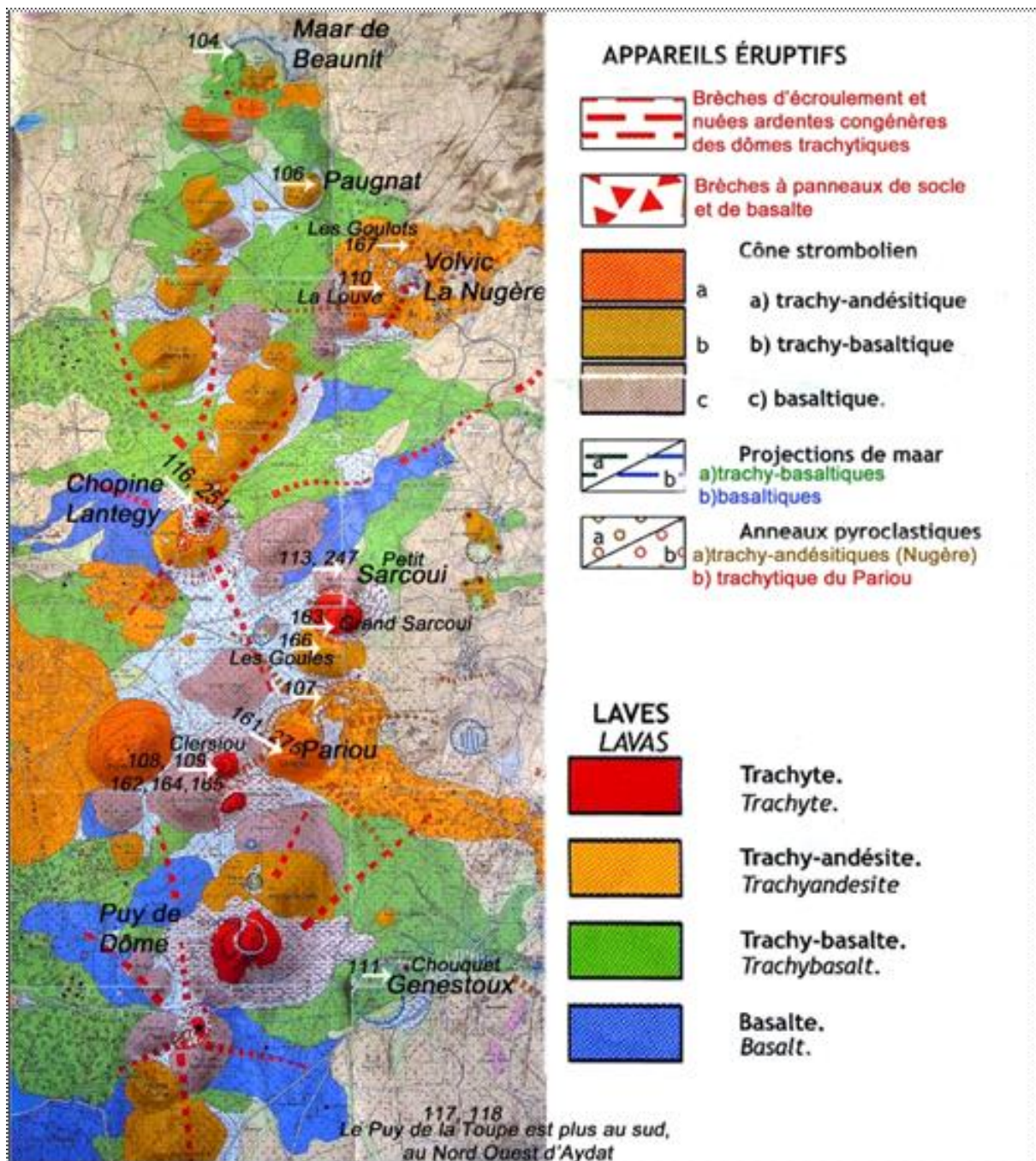
Carte et notice géologique du BRGM N° 740 au 1 / 50 000 - La Tour d'Auvergne pour le sud du massif.

Le massif de la Chaîne des Puys

Classement par unité géologique et géographique

En général les sites sont désignés dans cette chaîne par le terme de Puy. Dans le tableau récapitulatif, les lieux de prélèvement sont classés géographiquement, du nord au sud. Seule la moitié nord de la chaîne, jusqu'au Puy de Dôme, a fait l'objet du voyage d'étude SAGA de 2015.

La carte ci-dessous donne les positions géographiques des prélèvements rapportées sur la carte géologique reproduite (voir bibliographie).



Basalte : LM 11104 – Maar de Beaunit ; 11106 – Puy Paugnat ; 11247 et 11113 - Petit Sarcoui ; 11117- Puy de la Toupe.

Hawaïte : LM 11106 – Puy Paugnat ; 11166 – Puy des Goules ; 11107 – Puy Pariou ; 11111 – Genestoux.

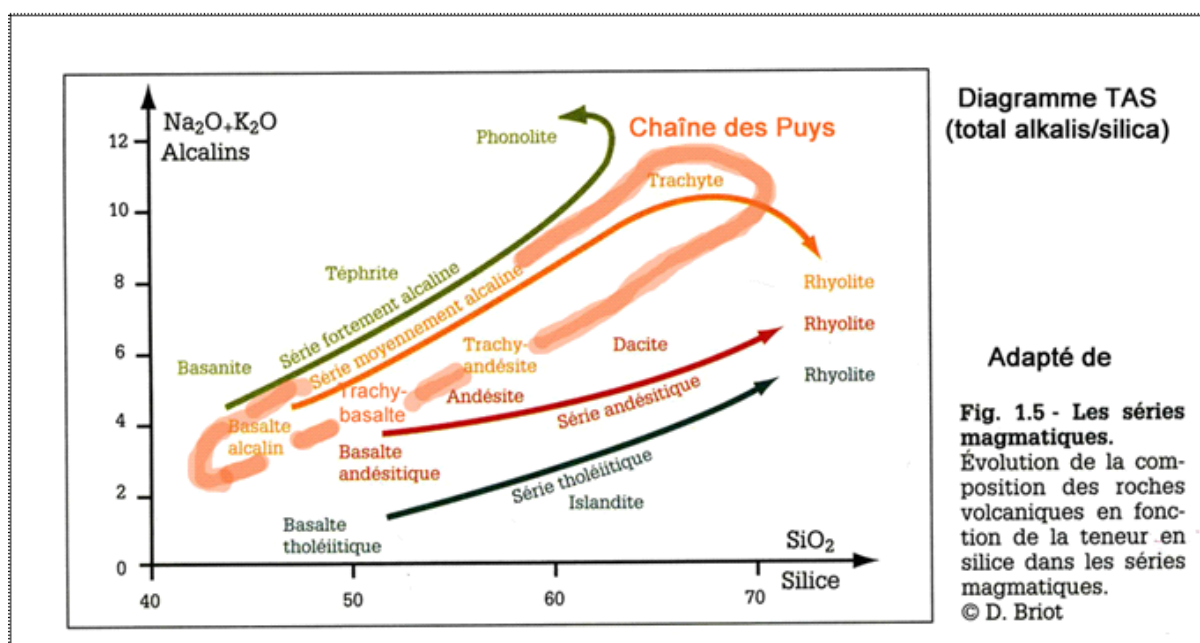
Basanite : LM 11118 – Puy de la Toupe.

Benmoréite : LM 1116 et 11251 – Puy Chopine ; 11163 – Grand Sarcoui ; 11165, 11162, 11108 11109 et 11164 – Clersiou.

Mugéarite : LM 11167 – Volvic – les Goulots ; 11110 – Puy de la Louve ; 11275 et 11161 – Puy Pariou.

La série pétrographique de la Chaîne des Puys, une série alcaline

Un caractère remarquable de la chaîne des Puys est son unité pétrographique que l'on peut décrire dans les termes classiques du diagramme TAS (total alcali / silica). La série de la chaîne des Puys est **classée moyennement alcaline**.



La série de la chaîne des Puys dans le diagramme TAS

Pour identifier et désigner les différentes roches décrites, nous avons adopté la terminologie utilisée dans la notice de la carte géologique au 1 / 25 000 et dans les publications récentes du laboratoire de Clermont Ferrand (voir bibliographie).

Classes de la série alcaline

Basaltes

Hawaïtes (Trachy-basaltes)

Mugéarites (Trachy-andésites)

Benmoréites (Trachytes)

Le tableau ci-dessous (tiré de *Volcanologie de la Chaîne des Puys*) permet d'établir la correspondance avec les dénominations internationales qui sont systématiquement utilisées dans le tableau récapitulatif des minéraux.

% SiO ₂		45	48	51	55	60	65	
Classification internationale		basanite	basalt		basaltic trachyandesite	trachy andésite	trachyte	rhyolite
	sodique			hawaïite	mugearite	benmoreite		
	potassique			potassic trachybasalt	shoshonite	latite		
Nomenclature utilisée ici		Basalte		Trachy-basalte	Trachy-andésite	Trachyte		
Nomenclature traditionnelle		<i>basalte ankaramite</i>		<i>trachybasalte, leucobasalte, labradorite</i>	<i>trachyandésite</i>	<i>trachyte, domite</i>	<i>rhyolite</i>	
Composition minéralogique	phéno-cristaux	olivine clinopyroxène	clinopyroxène amphibole plagioclase	plagioclase (amphibole)	plagioclase, feldspath alcalin clinopyroxène amphibole ou biotite sphène, minéraux opaques			
	microlites	olivine clinopyroxène plagioclase minéraux opaques	olivine clinopyroxène plagioclase minéraux opaques	olivine clinopyroxène orthopyroxène plagioclase minéraux opaques	plagioclase, feldspath alcalin clinopyroxène biotite, tridymite minéraux opaques			
Nomenclatures anciennes et actuelles des laves de la Chaîne des Puys, en rapport avec leur minéralogie.								

Bibliographie

Volcanologie de la Chaîne des Puys, équipe associée de volcanologie de l'Université de Clermont-Ferrand II, 5^{ème} édition, 2009, Parc naturel régional des volcans d'Auvergne.

Cet ouvrage de base, cité en tête de chaque fiche, nous a servi de référence et comporte une carte géologique au 1 / 25 000.

Le massif de l'Estérel

Introduction

Les manifestations du magmatisme dans l'Estérel sont multiples au cours des temps géologiques. Nous n'avons retenu que les deux principales.

- La première s'impose dans les paysages de la région, c'est le **volcanisme permien** qui s'est développé à la faveur de la phase distensive de la fin du Paléozoïque. Il a été accompagné par la formation de grands édifices de tufs rhyolitiques aux vives couleurs rouges et orangées, de type acide (exemple Mont Vinaigre). Ces tufs appartiennent à une série alcaline sursaturée, riche en alumine. Ce volcanisme original par sa dynamique éruptive de type plinien, permet au pétrographe de s'initier aux roches volcaniques si particulières que sont les **rhyolites ignimbrtiques** et les **rhyolites fluidales**. Nos prélèvements ont été limités aux coulées notées ⁵p, ⁷p, ¹⁰p et ¹¹p, principaux niveaux stratigraphiques de la **carte géologique BRGM Fréjus-Cannes N° 1024**. Dans la section du volcanisme permien, nous indiquons les méthodes utilisées pour caractériser et déterminer ces rhyolites ignimbrtiques ou fluidales.

À la fin du cycle permien, se déroule une phase éruptive modeste, de type basique. Elle appartient également à une série alcaline, avec principalement des roches de type **hawaïite/mugéarite**. Elle a le mérite d'être facilement observable sur la côte à l'est de Saint-Raphaël et se traduit par des coulées et des filons.

- La seconde manifestation étudiée dans l'atlas est celle de l'**estérellite** qui est très différente. Les beaux galets colorés d'estérellite ne passent pas inaperçus pour les visiteurs de la plage de débarquement du Dramont à l'est de Saint-Raphaël. Ce magmatisme est de type hypovolcanique, localisé géographiquement sous la forme d'un petit pluton et de ses laccolites satellites. Sa série est calco-alcaline et est liée à un contexte orogénique compressif de l'Eocène.

Le volcanisme permien

Localisation des prélèvements

Les prélèvements ont été effectués sur la côte à l'est de Saint-Raphaël et au Mont Vinaigre (voir la carte routière **figure 1**).

- **La côte à l'est de Saint-Raphaël, entre Boulouris et Dramont**

Les **figures 2 et 3** sont extraites de la carte géologique. Elles montrent l'ensemble des affleurements volcaniques et hypovolcaniques (estérellite en bleu) sur la région côtière et dans l'arrière-pays, au sein des grès et conglomérats du Permien, dominants.

La **figure 3** donne le détail de la carte géologique côtière entre Boulouris et Dramont, où l'on accède aux tufs rhyolitiques. Les affleurements du volcanisme basique tardi-permien sont plus que discrets, ce sont les filons notés ⁶F et la petite enclave notée ⁴H. Le **tableau 1** donne les numéros des lames minces.

- **Le Mont Vinaigre**

La **figure 4** indique la localisation de six prélèvements sur la route qui conduit de la maison forestière du Malpey au sommet du Mont Vinaigre.

Voir le **tableau 2** et la coupe du Mont Vinaigre, **figure 6**. Les termes utilisés sont expliqués dans le paragraphe « *Singulières rhyolites ignimbrtiques et rhyolites fluidales : comment les caractériser ?* ». Les symboles pour désigner les différents dépôts de tufs rhyolitiques et les coulées de rhyolite fluidale (pyroméride) sont ceux de la notice de la carte géologique.

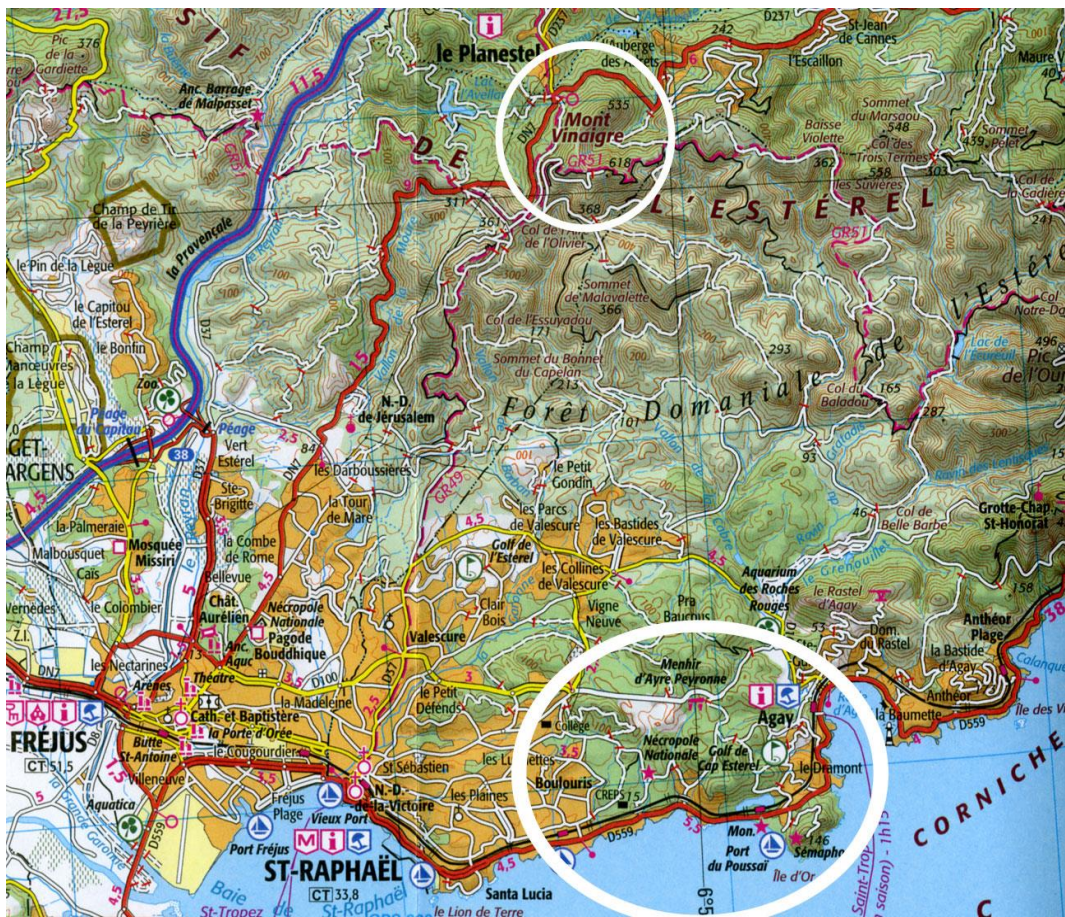


Figure 1 : Carte routière du massif de l'Estérel

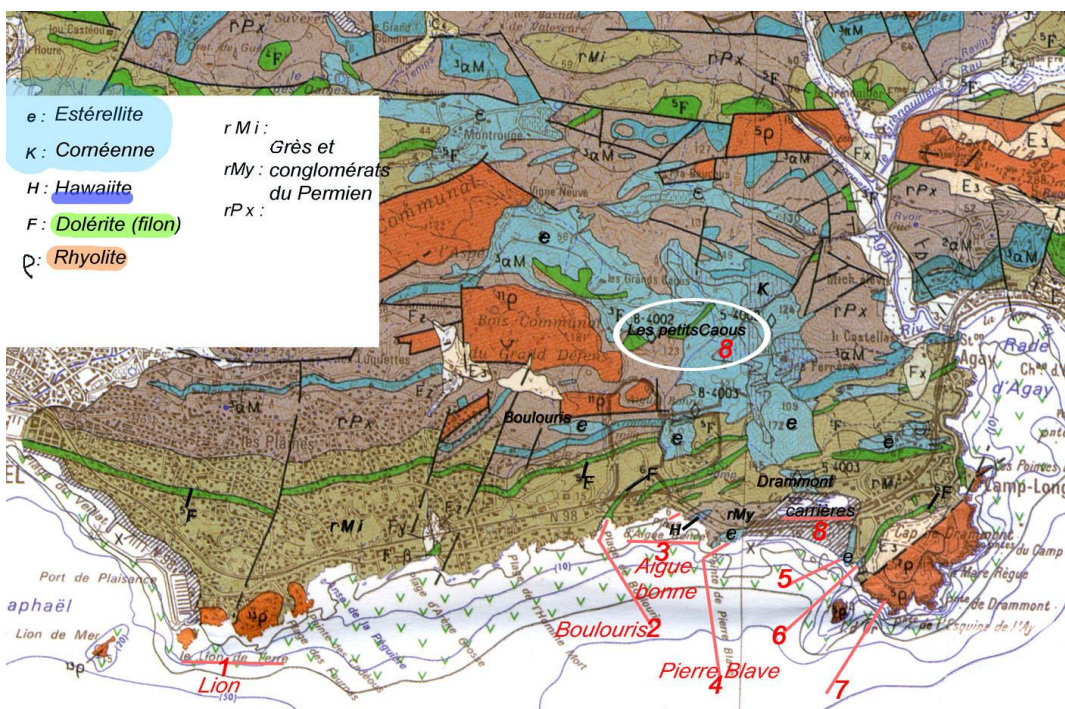


Figure 2 : Extrait de la carte géologique BRGM Fréjus-Cannes

Zone et lieu-dit	Numéro lame mince	Nature
Zone 2, Boulouris	10722	Hawaïite
Zone 3, Aigue Bonne	10602 10615	Projections et coulée boueuse (lahar) de hawaïite
Zone 6, petite crique Dramont	10613 (non décrit)	Tuf rhyolitique vert ⁵p
Zone 7, petite crique Dramont	10610 10604	Tuf rhyolitique rouge ⁵p

Tableau 1 : Prélèvements entre Boulouris et Dramont

Repère	Numéro lame mince	Nature
a : Parking au-dessus de la maison forestière du Malpey Altitude = 350 m	10606	⁷p : grande coulée d'ignimbrite
b : N 43.502 15, E 006.811 78 Altitude = 497 m	10608	Brèche de débouillage de la cheminée du volcan (voir figure 5) ¹¹p : rhyolite fluidale, pyroméride
c : N 43.502 15, E 006.811 78 Altitude = 497 m	10617 (non décrit)	Coulée recouvrant la brèche de débouillage (voir figure 5) ⁷p : nuée ardente d'ignimbrite
d : Altitude = 550 m	10616	¹⁰p : piperno rhyolitique, flammes aphyriques à cœur de ponce
e : Vers 500 m	10609 (non décrit)	⁷p : nuée ardente d'ignimbrite lie de vin
f : Voisinage du sommet à 605 m, après la faille (voir coupe figure 6)	10618	¹¹p : rhyolite fluidale, pyroméride

Tableau 2 : Prélèvements au Mont Vinaigre

N 43.502 15, E 006.811 78. Altitude = 497 m :
 débouillage de la cheminée du volcan

Une « coulée »
 d'ignimbrite (7p)
 est venue
 recouvrir la **brèche**
 ci-dessous

brèche volcanique
 avec blocs de
rhyolite fluidale,
(pyroméride) 11p,
 cimentés dans
 la nuée ardente 7p

Photo Yves Grimault

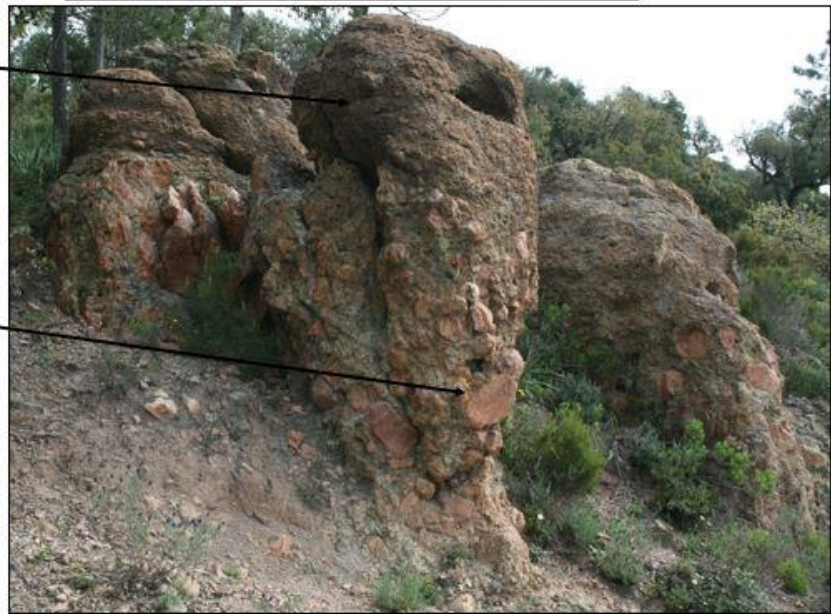


Figure 5 : Affleurements en bord de piste au Mont Vinaigre

Le cliché est pris à l'emplacement du site noté c sur la carte de la figure 4. On aperçoit à la base, dans la brèche de débouillage, les fragments de pyroméride projetés depuis la cheminée éruptive du Mont Vinaigre. Le haut de la cheminée, obstrué par de la rhyolite ignimbritique refroidie, a explosé sous la poussée du magma pyroméridique.

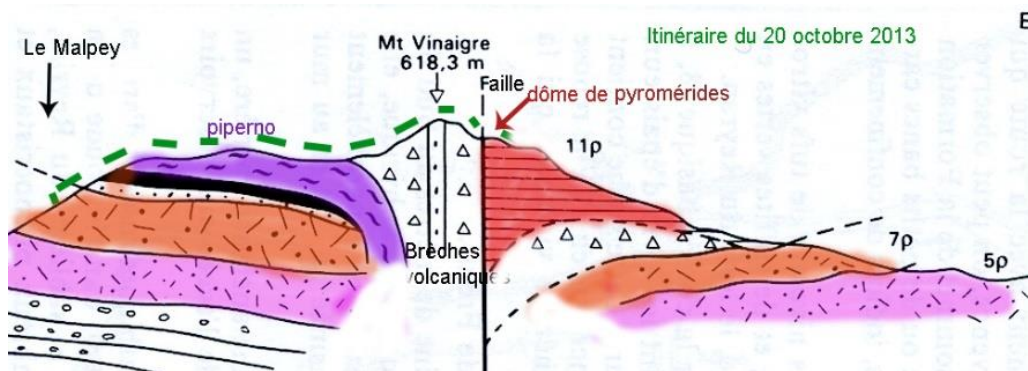


Figure 6 : Coupe géologique du Mont Vinaigre

Cette coupe montre les principaux types de rhyolite, ignimbritique et fluidale, échantillonnés pour les lames minces le long de l'itinéraire parcouru (en trait hachuré vert). Dessin à partir de la notice de la carte géologique.

Singulières rhyolites ignimbritiques et rhyolites fluidales : comment les caractériser ?

S'agissant des **phénocristaux**, l'examen au microscope paraît simple au premier abord. Quartz et feldspaths alcalins coexistent parfois en grande quantité. Ils sont en général de taille millimétrique à plurimillimétrique, bien que parfois fragmentés. Ils sont faciles à identifier et à compter sur une lame, de façon à évaluer grosso modo leur densité volumique : voir par exemple les lames 10604, 10606 et 10610. On dispose ainsi d'une première donnée, à comparer à celles de la notice de la carte géologique. Le **tableau 3** permet de visualiser la colonne stratigraphique des dépôts et coulées rhyolitiques sur plusieurs centaines de mètres.

Une caractéristique majeure est l'abondance des phénocristaux (\emptyset) dans les premières coulées ; la tendance est indiquée par la courbe en tirets.

- Première colonne : Désignation de la rhyolite, de 1^p à 11^p .
- Seconde colonne : Type de rhyolite. **Ign** désigne ignimbrétique et \emptyset est le pourcentage en volume de phénocristaux. Le symbole **FL** désigne la présence de flammes. **Pyroméride** est le terme ancien pour désigner les rhyolites fluidales (coulées). Ces dernières occupent le sommet de la colonne.
- Troisième colonne : Epaisseur des dépôts.

Le maximum de taux de phénocristaux se produit dans les émissions ignimbritiques du début : les phénocristaux massés au sommet de la chambre magmatique sont expulsés par la poussée des gaz. Après expulsion des gaz, la dernière émission est une vraie coulée de magma à forte viscosité.

11 ^p	$\emptyset < 5\%$ Pyroméride	50 m
10 ^p	$\emptyset < 5\%$ Piperno, FL	200 m
9 ^p	$\emptyset < 5\%$ Ign	100 m
8 ^p , 9 ^p	Pyroméride	5 m
7 ^p	Ign $\emptyset = 40$ à 50%	150 à 300 m
6 ^p		3 m
5 ^p	Ign $\emptyset = 30$ à 40%	0 à 150 m
2 ^p	$\emptyset = 10$ à 15% Ign	20 à 30 m
1 ^p	FL	2 à 5 m

Tableau 3 : Extrait de la notice de la carte géologique (BRGM N° 1024)

Rhyolites ignimbritiques

L'étude pétrographique des rhyolites ignimbritiques éclaire leurs conditions d'émission et de dépôt. L'examen au microscope de la mésostase pose des problèmes spécifiques de morphologie et d'interprétation en termes de dynamique éruptive. Les rhyolites ignimbritiques occupent une place particulière dans les roches volcaniques à cause de leur composition et de l'état physique de pulvérisation intime de la matière lors de l'émission et pendant la phase de dépôt. On sait maintenant,

à partir des travaux de P. Bordet sur la **vallée des Dix Mille Fumées** (voir article Bordet et Tazieff en référence) qu'il ne s'agit pas d'une « coulée » au sens strict (contrairement à ce qui se passe pour les rhyolites fluidales). Le magma d'origine est hypersiliceux (voir diagramme TAS, **figure 9**) et donc excessivement visqueux. La clé de l'explication se trouve dans le rôle majeur des gaz occlus dans le magma pendant la phase éruptive du volcan. On peut mieux se représenter la mise en place des ignimbrites sur de très grandes surfaces, comme l'écoulement d'un flux de particules liquides en suspension dans un gaz à très haute température (jusqu'à 950°C, voire 1 000 °C). Ce flux est celui qui résulte de la « pulvérisation » du magma et de son émulsion dans les gaz ; une grande partie du dépôt se produit par éclatement de petites vésicules de gaz, dont la densité volumique est très élevée dans le liquide. Il s'agit donc d'un état original de la matière magmatique, état fluidifié par les gaz, et dont la rhéologie obéit à des lois propres. Voir par exemple l'article général de Crevola en référence.

L'étude fine de cet état d'émulsion de magma, mis en suspension puis effondré, écrasé et soudé sur lui-même, est développée dans les fiches descriptives des lames minces de ces tufs ignimbritiques. Un aspect essentiel de ces ignimbrites est leur degré de cristallisation et la structure de la phase microcristallisée, au regard de la phase vitreuse. L'étude est morphologique et passe par l'observation au microscope de microcristallisations insolites, certaines très petites, d'autres visibles à l'œil nu. La description morphologique est complétée par la détermination minéralogique des microcristallites, quand elle est possible.

- Les **échardes**, qui sont les vestiges des vésicules éclatées, plus ou moins écrasés, puis soudés à chaud et recristallisés (observation en LPA). C'est leur observation au microscope qui a conduit à identifier l'état physique particulier des « coulées » de rhyolites ignimbritiques. Elles peuvent être, soit à contour net, soit fantomatiques, voire même effacées mécaniquement par écrasement sous le poids des dépôts. Elles sont souvent difficiles à observer, et revêtent des formes extrêmement variables suivant la densité et la morphologie initiale des vésicules, en bulles ou en tuyaux (**figures 7a, 7b et 7c**).
- Les **flammes**. Ce sont des projections de petits paquets de magma dégazé, aplaties en forme de flammes, certaines éclatées, d'autres en grande partie vitreuses, à cœur de ponce partiellement recristallisée. Les flammes sont faciles à observer à cause de leurs dimensions macroscopiques, visibles à l'œil nu sur les affleurements. Symbole **FL** sur le **tableau 3**. Voir par exemple les lames 10609 et 10616.
- Les **microlites dendritiques** (**figure 7d**). Ce ne sont pas des échardes mais des microcristallites dispersées dans la masse vitreuse. Leur croissance a été ultrarapide, dans des conditions extrêmes de surfusion et/ou de sursaturation. Voir l'ouvrage de Ron H. Vernon en référence, page 79.

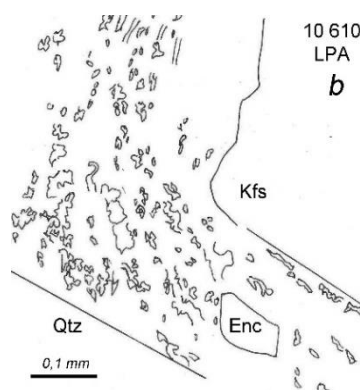
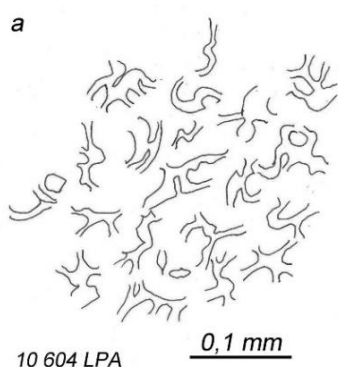


Figure 7a : Lame mince 10604. Echardes en X ou de formes complexes, dans la rhyolite ignimbritique 5p de la baie du Dramont.

Figure 7b : Lame mince 10610. Echardes fantômes, écrasées, en structure fluidale moulant les phénocristaux (Qtz = quartz, Kfs = sanidine et Enc = enclave), dans la rhyolite ignimbritique 5p de la baie du Dramont.

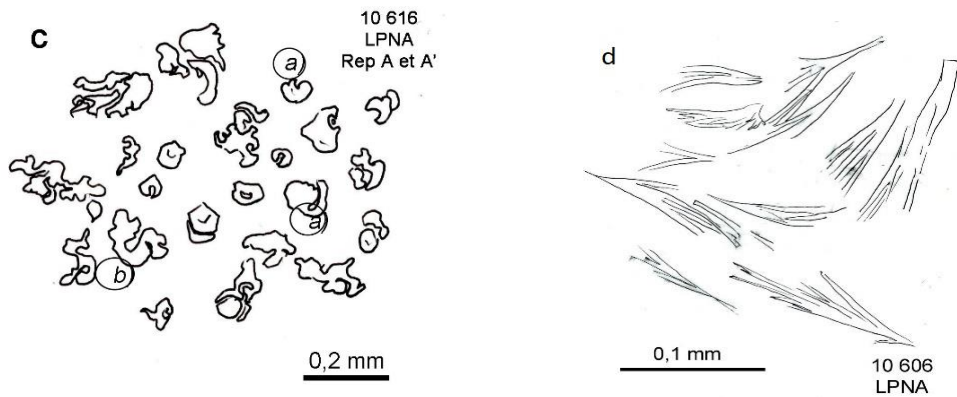


Figure 7c : Lame mince 10616. Microclastes de la phase quartz dans les cœurs de flammes du piperno 10p du Mont Vinaigre. a) : en pelure d'oignon avec une couche concentrique. Le diamètre ne dépasse pas 0,1 mm. b) : en ombilic.

Figure 7d : Lame mince 10606. Microlites dendritiques en « queue de comète » ou en aigrette, dans la rhyolite ignimbrique 7p de la maison forestière du Malpey (Mont Vinaigre).

Rhyolites fluidales, ou pyromérides

Dans ce cas, les objets déterminants dans l'observation sont les **sphérolites (figure 8)**. Leur alignement fluidal bien marqué, résulte de l'écoulement de la lave en nappes ultra-visqueuses. Les sphérolites sont des petites masses sphériques de diamètre variable, en général inférieur au millimètre, de structure fibro-radiée : elles sont constituées d'un très grand nombre de microcristaux allongés (souvent aciculaires) rayonnant depuis le centre. Elles sont felsitiques c'est-à-dire composées de feldspath potassique (orthose) sur quartz interstitiel, et parfois de quartz. Dans le cas des rhyolites de l'Estérel, elles se sont formées par cristallisation lors du refroidissement lent de la coulée. Voir par exemple les lames 10608 et 10618. Le terme « dévitrification » est parfois utilisé, avec l'idée d'un processus de recristallisation sur des durées longues, éventuellement géologiques. Nous montrons qu'il n'en est rien, et que la formation des sphérolites s'est faite à une échelle de temps qui est celle du refroidissement de la coulée. La structure est en lien étroit avec la composition du magma rhyolitique, proche de l'eutectique du système binaire quartz-orthose (voir la notice de la carte géologique, page 183, la note de calcul de F.Nouyrigat et l'ouvrage de Ron H. Vernon, pages 90 à 101 et 120).

Les **sphérolites** à structure fibro-radiée ne sont pas les seuls objets déterminants dans l'observation des lames 10608 et 10618. Ils sont accompagnés d'une grande variété de structures plus classiques, comme des sphérolites à microcristaux d'orthose non aciculaires, et aussi de microcristallisations granophyriques. Ces dernières peuvent prendre des dimensions et des extensions remarquables, qui les rapprochent en dimension des microstructures miarolitiques dans les granites. Ces microstructures d'orthose sont associées à de larges plages de quartz pneumatolytique venu combler les cavités laissées par les gaz résiduels dans la lave pyroméridique. Toutes ces microstructures ont en commun le même processus de formation hors d'équilibre : nucléation et croissance d'un magma quartz-feldspathique au voisinage de la composition de l'eutectique, dans des conditions de forte surfusion et/ou de forte surstauration. Voir l'ouvrage de Ron H. Vernon aux pages 90 à 101.

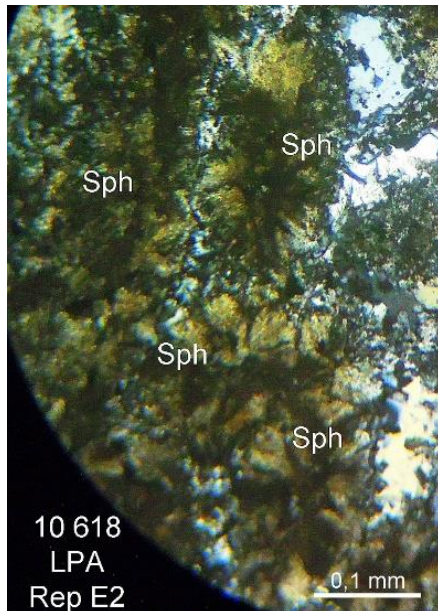
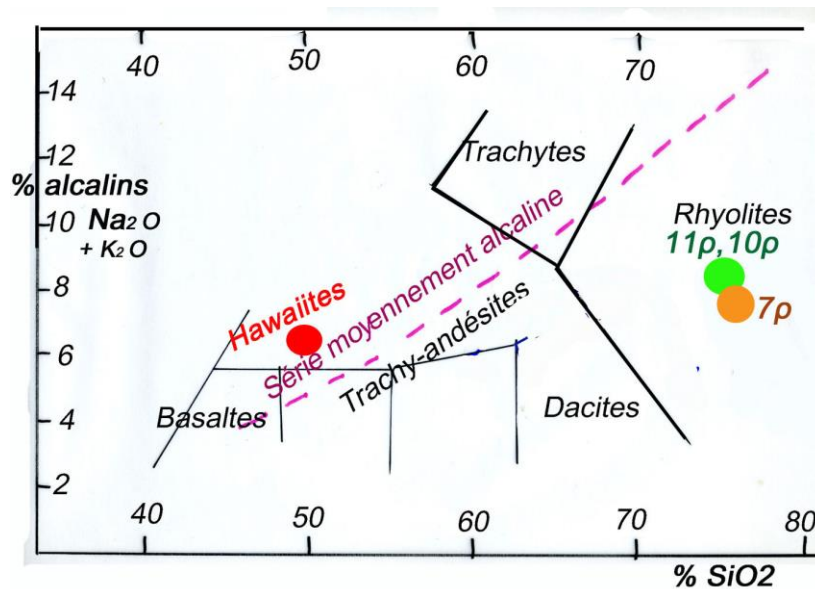


Figure 8 : lame mince 10818

Cliché en LPA d'un alignement fluidal de sphérolites dans la pyroméride du sommet du Mont Vinaigre.

Noter la couleur brun-jaunâtre des sphérolites d'orthose aciculaire, qui se détachent sur le fond de cristaux de quartz interstitiel entre microlites d'orthose. Il n'y a aucune phase vitreuse.

Série volcanique alcaline du Permien de l'Estérel



**figure 9 :
TAS**

Diagramme

En rouge, volcanisme basique tardi-permien de Aigue Bonne.

En vert et en orange, les rhyolites ignimbritiques de l'Estérel. Elles sont remarquables par leur très haut taux de silice. L'autre caractère remarquable est la forte prédominance de K_2O sur Na_2O dans les alcalins.

L'hypovolcanisme de l'Eocène, l'estérellite

L'extension de l'estérellite, notée par la lettre **e**, est visible sur les cartes des **figures 2** et **3**. Les numéros des lames provenant de la côte sont indiqués sur la carte de la **figure 10**.

D'autres prélèvements ont été faits dans la carrière des Petits Caous, voir la carte de la **figure 2**. Les cartes sont complétées par le **tableau 4**.

L'estérellite appartient à une série calco-alcaline.

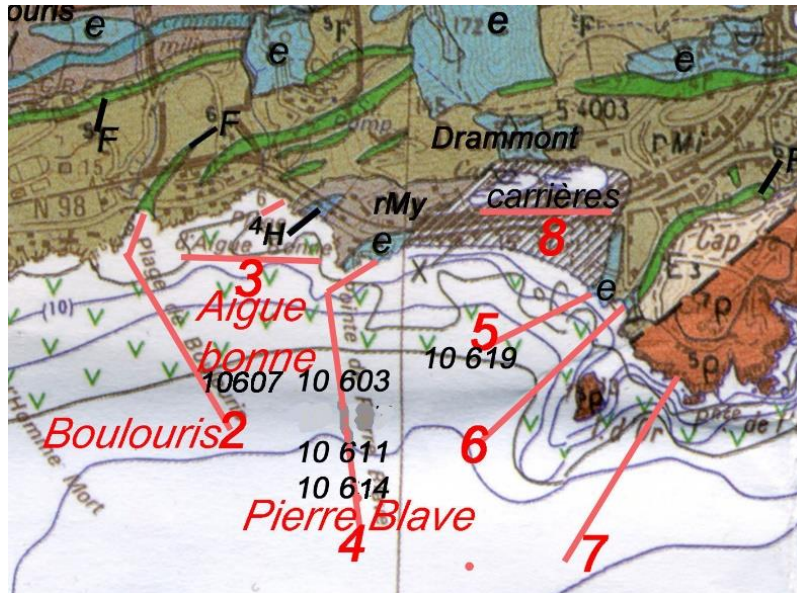


Figure 10 : Localisation des prélèvements d'estérellite sur la côte

Zone et lieu-dit	Numéro lames mince	Nature
Zone 3, Aigue Bonne (roche volante)	10607	Estérellite à amphibole
Zone 4, Pierre Blave (sur la côte)	10603 10611 10614	Estérellite à amphibole
Zone 5, Dramont, plage du débarquement	10619	Estérellite à amphibole
Carrière des Petits Caous (dans l'arrière-pays)	10817 10825 (décrit avec 10817) 10826	Estérellite à épidote

Tableau 4 : Prélèvements d'estérellite

L'étude de ces roches porphyriques se fait de façon classique, comme pour une roche volcanique :

- Description de la roche massive, fluidalité éventuelle.
- Identification et comptage des phénocristaux. Minéraux accessoires.
- Description de la mésostase.

Dans le cas présent, l'attention a porté sur les variations de dimension et de densité des phénocristaux, et sur les différents états de cristallisation de la mésostase. Enfin sur les différences entre les deux localisations (Pierre Blave vs. Petits Caous), en relation avec le rétro-morphisme qui a déstabilisé et transformé les pyroxènes puis les amphiboles du protolithe. Ce rétro-morphisme a opéré en présence de fluides hydrothermaux circulant lors de la mise en place du pluton.

Bibliographie

Bordet P. et Tazieff H. (1963). *Remarques sur l'éruption du Katmaï et de la vallée des Dix Mille Fumées et sur le problème des ignimbrites*. Bull. Soc. Géol. Fr., VI pp. 397-401.

G. Crevolat (2010). *Le volcanisme rhyolitique du massif de l'Estérel : évolution des connaissances*. En hommage au Professeur Marc Boucarut. Institut Egid. Université de Bordeaux.

Carte géologique BRGM, Fréjus-Cannes, N° 1024, 1994.

Francis Nouyrigat (2017). *Note de calcul sur la position des rhyolites dans le diagramme de phase orthose/quartz*. Communication personnelle.

Ron H. Vernon (2004). *A practical guide to Rock Microstructure*. Ed. Cambridge.

Le strato-volcan du Cantal, une approche par la pétrographie

1. Introduction

2. Lignes directrices et limites de l'atlas.

- Les phases de construction, effondrement et reconstruction. L'intérêt des repères volcano-sédimentaires et les datations.
- La série alcaline du Cantal
- Les différents types de dépôts pyroclastiques. Les brèches. (voir guides de la notice générale)

3. Présentation par phases, avec localisations des échantillonnages utilisés pour les lames minces

Phase 1. « Infracantalien ». Basaltes et basanites. Ankaramites.

Phase 2. Construction du paléovolcan, épisode des ponces. Rhyolite d'Armandie. Gabbros.

Phase 3. Première partie, vallée du Mars : effondrement du versant nord-ouest et dépôts d'avalanche de débris. La cicatrice fossile.

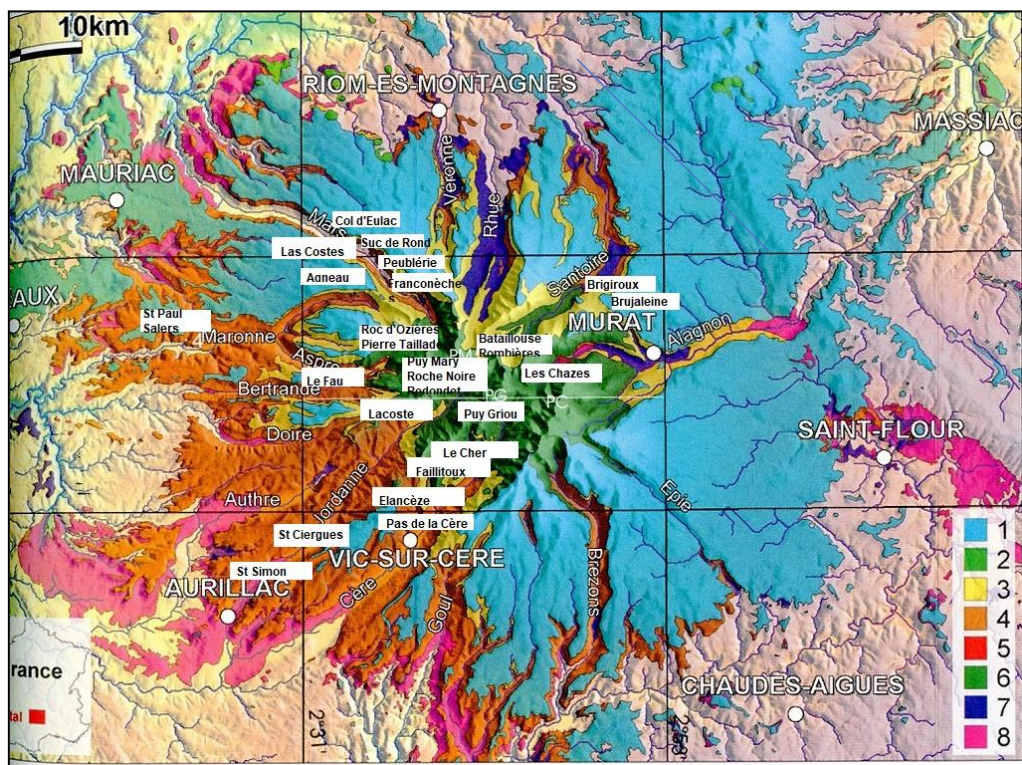
Seconde partie, vallée de la Jordanne: avalanche de débris.

Phase 4. Edification du néovolcan et démembrement de ce dernier, versant nord-ouest

Phase 5. Coulées, dômes et dykes de téphriphonolite et de phonolite

Phase 6. Trachytes et nuées ardentes trachytiques du Puy Mary

Phase 7. « Supra cantalien ». Basaltes et basanites.



1 = basaltes supracantaliens, 2 = phonolites, 3 = dépôts de coulées de débris, 4 = dépôts d'avalanches de débris, 5 = formations cendro-ponceuses, 6 = brèches et coulées trachyandésitiques du stratocône, 7 = basaltes infracantaliens, 8 bassins sédimentaires oligocènes. *Notice feuille Murat. P.Nehlig (2001)*

4. Bibliographie

1. Introduction

Le complexe volcanique du Cantal, plus grand strato-volcan d'Europe, offre un vaste terrain d'étude pour la volcanologie et les études pétrographiques associées. Sa taille même et sa complexité obligent à faire des choix dans notre présentation et dans les lames minces que nous décrivons dans ce chapitre de l'atlas de la SAGA. Ces choix reposent d'abord sur l'étude de la documentation, très abondante dans le cas du Cantal : quelques éléments de bibliographie en fin de chapitre. Plusieurs générations de géologues se sont succédé depuis le début du XX^{ème} siècle, pour étudier ce géant et les questions qu'il a longtemps posées.

Notre connaissance a été acquise sur le terrain par cinq voyages d'étude échelonnés sur plus d'une décennie. Voyages de reconnaissance ou de groupes de trois à quatre jours. On trouvera les références d'articles publiés dans le bulletin de la SAGA, dans le chapitre bibliographie. Dans le travail préparatoire de l'atlas pétrographique du Cantal, nous avons été conduits à sélectionner les reliefs et les vallées sur lesquels nous voulions porter l'effort : voir la carte géologique schématique ci-dessus. Nous exposons ci-dessous la logique qui a présidé à ces choix.

2. Lignes directrices et limites de l'atlas

2.1 - Les phases de construction, effondrement et reconstruction. L'intérêt des repères volcano-sédimentaires et des datations.

A l'origine, le plan était de décrire les différents types de roches par grands secteurs ou vallées visités, ainsi que sur les principaux reliefs. Ce plan n'a pas été retenu comme ligne directrice, nos visites et collectes étant lacunaires sur le plan strictement géographique. De plus l'atlas pétrographique de la SAGA a toujours cherché à établir le lien entre pétrographie, volcanologie, et histoire géologique du complexe étudié. Aussi la ligne retenue a consisté à guider la présentation à partir des grandes périodes d'édification, d'effondrement et de reconstruction du strato-volcan.

Cependant la localisation géographique continue à jouer un rôle fondamental. Naturellement les spécimens sélectionnés se rapprochent de ceux décrits dans la bibliographie, pour leur représentativité mais aussi parfois pour leur singularité.

Il faut également noter une particularité du complexe du Cantal, qui est l'abondance (80% en volume émis) prépondérante des brèches (Leyrit H. et Nehlig P. (2001)). Elle ne se retrouve pas entièrement dans les choix de nos échantillons, qui sont souvent prélevés dans les coulées, les dykes... Néanmoins nous décrivons plusieurs exemples de brèches : voir § 2. 3..

Les phases de première édification (paléovolcan), puis d'effondrement et de reconstruction (néovolcan) sont bien documentées dans les publications qui ont suivi l'événement qui a bouleversé les interprétations : l'éruption du Mont St Helens dans l'état de Washington (18 mai 1980). Nous donnons quelques références dans la bibliographie en fin de chapitre. Ces phases sont encadrées par la phase la plus ancienne de dépôt des basaltes infracantaliens et par la phase finale la plus récente de recouvrement par les vastes coulées de basalte supracantalien.

La **figure 1** montre la chronologie des éruptions du Cantal entre 12 et 1,5 Ma, avec une activité très intense d'émissions de trachyandésites entre 8 et 7 Ma. L'accumulation de ces coulées et de ces pyroclastites se révèle instable comme dans la plupart des exemples de strato-volcans de même nature. Associée à d'autres causes, l'accumulation a provoqué de multiples effondrements de grande ampleur - au moins quatre - dont les âges peuvent être encadrés par les datations attribuées aux coulées identifiées à la base et au sommet des avalanches (Nehlig P., 2001).

Les dessins des **figures 2a** et **2b** donnent un aperçu schématique et dimensionnel du complexe volcanique dans toute son extension.

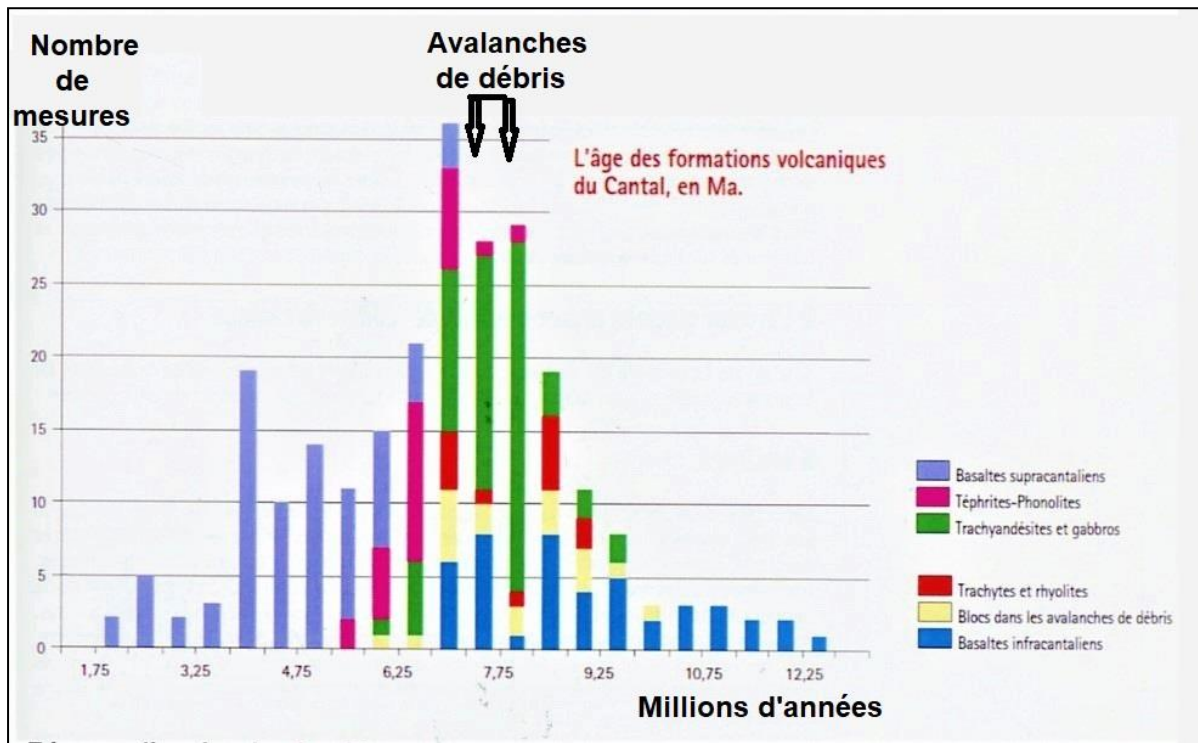


Figure 1. Age des formations volcaniques du complexe du Cantal.

Les lames minces présentées dans l'atlas sont toutes issues de produits d'éruptions de la période centrale entre 9 et 6 millions d'années. L'intervalle très court pendant lequel ont eu lieu les grands effondrements du strato-volcan dont témoignent les avalanches de débris, est représenté en haut de la figure par un trait encadré de deux flèches. Il est de moins de 400.000 ans, ce qui est très peu au regard de l'échelle géologique du complexe volcanique, étendue sur environ 10 millions d'années. (Tiré et adapté de : Nehlig P. et al., 2019.)

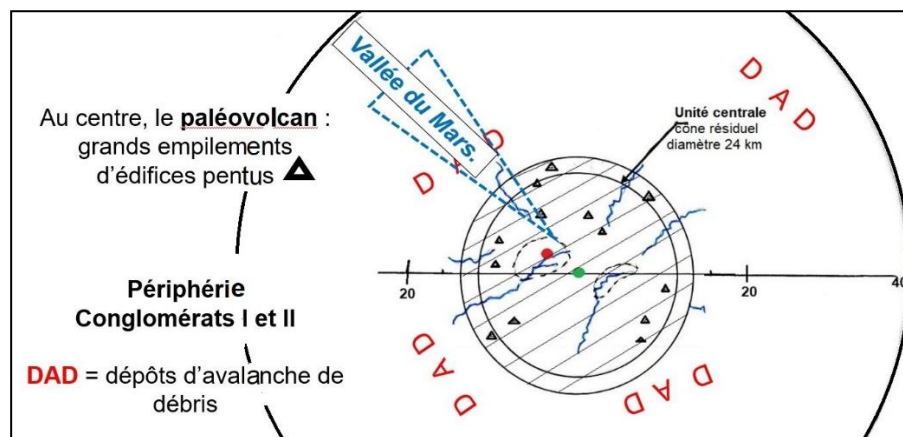


Figure 2a.

La zone périphérique des conglomérats, d'environ 80 km de diamètre, contient le **paléovolcan**. C'est un complexe édifié par l'empilement d'éruptions issues d'un grand nombre d'édifices à l'intérieur d'un diamètre d'environ 24 km. Avant la phase d'effondrements multiples, le strato-cône aurait pu atteindre une hauteur supérieure à 3000 m. Le centre géométrique est au voisinage du dôme phonolitique du Puy Griou (point vert sur le schéma). Dessin D. Rossier.

L'unité centrale est entourée d'une vaste région de dépôts conglomératiques de deux types.

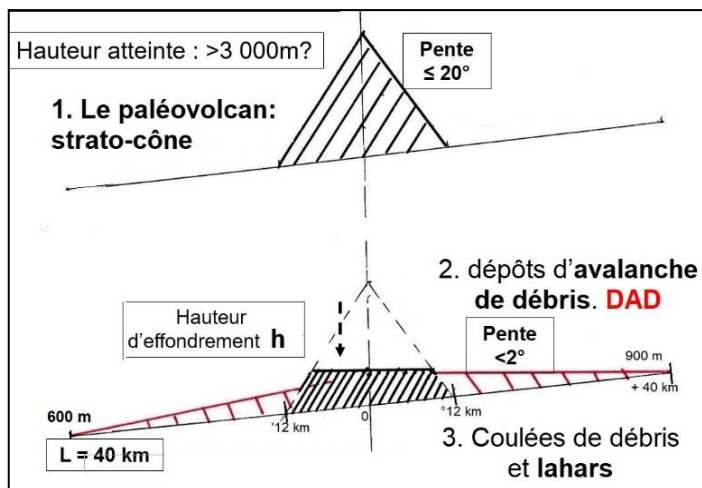
Les **conglomérats de Type I**, dépôts d'avalanche de débris (**DAD** sur la figure) ; ce sont des **dépôts secs**, très visibles dans les douze vallées qui rayonnent autour de l'unité centrale.

Les **conglomérats de type II**, coulées de débris et lahars, tous liés à l'entraînement par l'**eau**. L'atlas présente une sélection d'observations, faites dans les segments proximaux¹ de trois vallées dont la principale est la vallée du Mars (en bleu ci-dessus). Les deux autres sont la vallée de la Jordanne et celle de la Cère.

¹ distants de moins de 10 km de la bordure de l'unité centrale.

Figure 2b.

Coupe du complexe mettant en lumière les différences de pente entre le strato-cône ou unité centrale, et les dépôts conglomératiques I (DAD) et II (coulées de débris et lahars). Ces derniers sont intimement superposés sur une zone très étendue, de 40 km de rayon autour du centre. Dessin D.Rossier.



Parmi les trois vallées citées plus haut, celle du Mars se prête bien aux relevés des repères volcano-stratigraphiques des conglomérats I et II. Cependant, comme nous l'avons déjà signalé, nous n'avons décrit dans l'atlas que les observations faites dans la zone proximale par rapport au stratocône : voir le **paragraphe 3** suivant, **phase 3**.

La phase d'effondrement nécessitait une attention particulière. On suppose qu'il y a eu plusieurs événements d'effondrements majeurs. C'est l'effondrement du versant nord-ouest (face en particulier à la vallée du Mars) qui a retenu notre attention : en effet, l'hypothèse d'une cicatrice fossile de l'évènement est documentée dans la référence Fréour (1998) , citée dans la bibliographie de cette notice. Elle est localisée dans les environs du lieu-dit « **Roche noire** », à proximité du Pas de Peyrol. C'est la raison des nombreux échantillonnages effectués par nous sur le site de Roche Noire, et des fiches Atlas correspondantes, présentées dans le même **paragraphe 3**, **phase 3**.

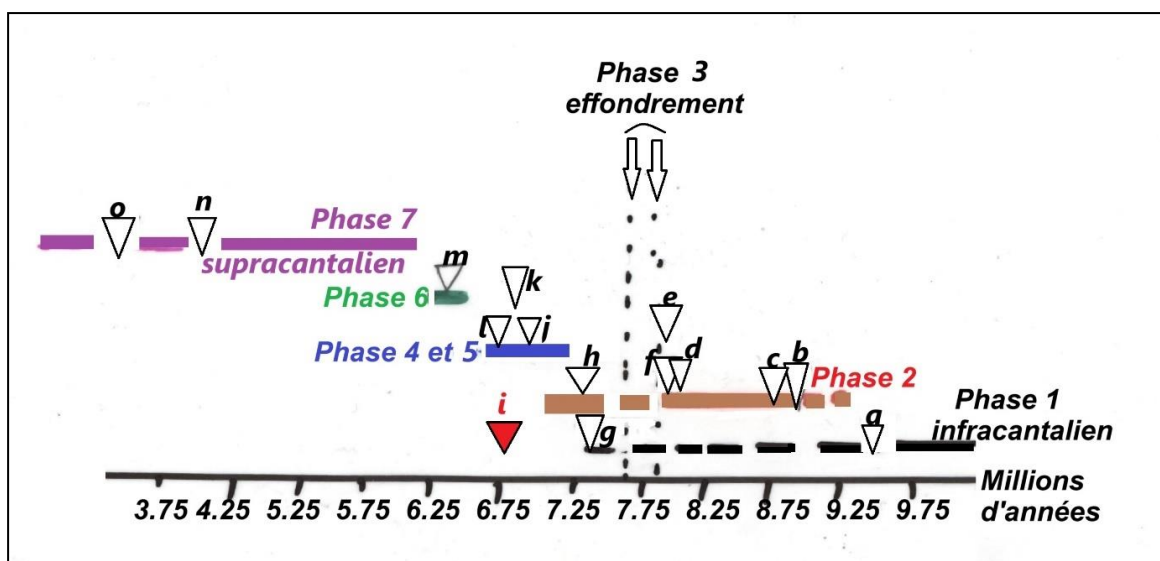


Figure 3. Diagramme temporel des 7 phases successives, utilisées pour l'organisation de l'ATLAS.

Certaines se chevauchent. Les flèches renvoient à des sites de prélèvement :

a : Faillitoux, **b** : Elancèze, **c** : Armandie, **d** : Peyre Arse, **e** : Pierre Taillade, **f** : Peyre del Cros, **g** : Franconèche, **h** : Col de Chapeloune, **i** : Lacoste, **j** : dyke de Chapeloune, **k** : Le Cher, **l** : Puy Griou, **m** : Puy Mary, **n** : Brujaleine, **o** : Suc de Rond.

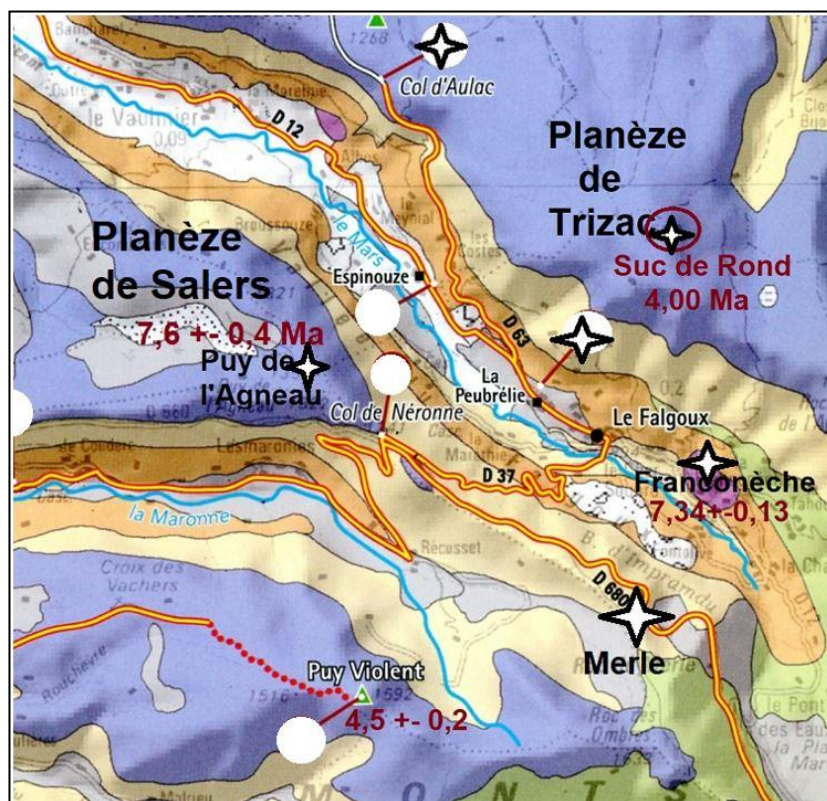
Les très nombreuses datations effectuées sur le complexe² ont permis de placer les phases successives dans le temps, **figure 3**. Un conglomérat ou une brèche ne peuvent pas être datés pour eux-mêmes, à cause de la disparité éventuelle des composants ; néanmoins on peut contraindre la date de l'évènement par les repères volcano-stratigraphiques de coulées voisines dans la pile stratigraphique. C'est ainsi que la période des conglomérats de la vallée du Mars a

² Voir le tableau des datations pages 254 à 260 dans la notice de la carte géologique, feuille Murat, édition BRGM 2001.

pu être estimée entre 8 et 7,2 Ma, à partir de la datation des planèzes supracantaliennes à proximité immédiate à $7,6 \pm 0,4$ Ma, et d'un témoin supposé précédant l'effondrement à $7,34 \pm 0,13$ Ma (voir le dossier Franconèche),

Figure 4.

Les croix indiquent la position de nos prélèvements sur des basaltes, comme Franconèche (basalte supposé infracantalien) d'une part, et le Puy de l'Agneau, le rocher de Merle et la planèze de Trizac (basalte supracantalien). Carte schématique tirée et adaptée de de Nehlig P., (2007).



2.2. La série alcaline du Cantal

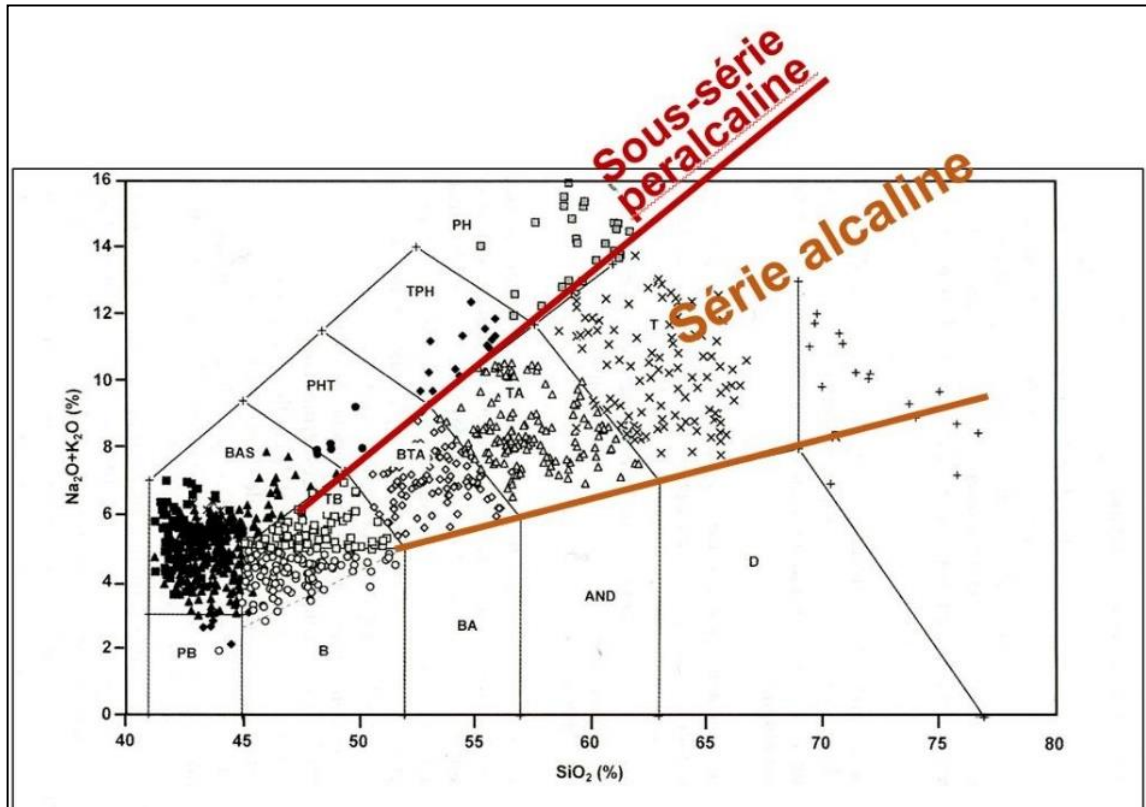
La place des roches éruptives du Cantal dans le diagramme TAS est donnée dans la **figure 5**, empruntée à la notice de la carte BRGM, feuille Murat. Chaque domaine de la série est représenté par une ou plusieurs fiches dans l'atlas, depuis les basanites jusqu'aux phonolites. La série est alcaline, très similaire à celle du Mont Dore, ou légèrement plus alcaline que celle de la chaîne des Puys. Noter la sous-série peralcaline intermédiaire entre alcaline et hyperalcaline, conduisant des basanites aux phonolites, en passant par les tephri-phonolites, avec le point de rebroussement conduisant aux phonolites agpaïtiques (Varet J. 1969).

- **Basaltes** et **basanites** sont décrites dans les phases **1** et **7**.
- Les **trachybasaltes** sont décrits dans la phase **3**.
- Les **trachyandésites** au sens large (y compris latites) sont décrites dans les phases **2,3** et **4**.
- Les **trachytes** sont décrits dans la phase **6**.
- La sous série **peralcaline** est décrite dans la phase **5**.
- Les **rhyolites** sont mentionnées dans la phase **2**.

Figure 5. Diagramme TAS (total alkaly vs. Silica), du complexe du Cantal. Etabli pour la notice de la carte géologique (Nehlig P.) à partir de la nomenclature de Le Maître et al. (1989). Les domaines concernés sont les suivants :

B = basalte, TB = trachybasalte (ou hawaïite), BTA = trachyandésite basaltique (ou mugéarite), TA = trachyandésite (ou benmoréite), T = trachyte, R = rhyolite.

Pour la sous-série peralcaline : BAS = basanite, PHT = phono-téphrite, TPH = téphri-phonolite, Ph = phonolite.



2.2- Les différents types de dépôts pyroclastiques. Les brèches.

Nos prélèvements sur les dépôts d'avalanches de débris se sont faits sur des panneaux géants (ex. Les Palières au-dessus de la Peublérie, ou au-dessus de St Cirques de Jordanne), mais aussi sur des brèches de progression en zone proximale : voir **figure 6**. Dans tous ces cas la description ne diffère guère de celle d'une roche effusive (lave). Dans la majorité des cas, les produits d'émission sont des variantes de trachyandésite, qui proviennent d'un magma visqueux. Les coulées proprement dites ne sont pas si fréquentes. Les dynamiques éruptives s'apparentent surtout à la formation de dômes et à leur explosion produisant des nuées ardentes. Les coulées de progression sont fréquentes.

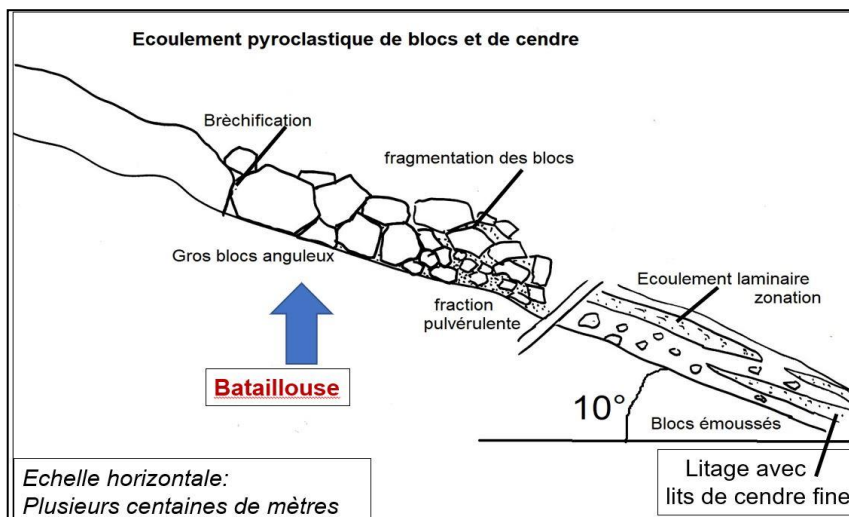


Figure 6.

Schéma montrant la variation du taux de fragmentation avec la distance de la bouche éruptive dans le cas des laves trachyandésitiques. En zone proximale d'une bouche d'émission la taille des blocs est plurimétrique : exemple au pied du Puy de Bataillouse, versant ouest. Dessin par D. Rossier, adopté d'une figure de l'article « écoulement de brèches » par A. de Goet (1976).

Dans le présent atlas du Cantal, il y a quelques exemples de brèches de nuées ardentes (Puy Mary), de coulées pyroclastiques, y compris de tufs cendro-ponceux (le Fau et Peyre del Cros). Enfin des exemples de lames taillées sur des échantillons prélevés sur des lahars (Cher, Las Costes), donc sur des brèches de produits volcano-sédimentaires. Dans tous ces cas, la description est sensiblement différente puisqu'il faut plutôt s'attacher à décrire la structure granulométrique, voire sédimentaire, ainsi que la diversité des composants.

3. Présentation en 7 grandes périodes, dites phases,

avec **localisation** des échantillonnages utilisés pour les lames minces. Comme il s'agit d'un atlas, les cartes sont indispensables. Le complexe du Cantal est immense : cela a nécessité de présenter un grand nombre de cartes de détail. Les lames sont identifiées par le code à 5 chiffres. Il y a au total 59 dossiers pour 74 lames minces décrites.

- **Phase 1. Infracantalien.** Basaltes, basanites et ankaramites.

N° L.M. Code 5 ch.	Date recueil	Lieu recueil	Code ou lieu échantillon	Nature
11866	22/08/20	Cascade de Faillitoux		Ankaramite β9
11846	22/08/20	Cascade de Faillitoux	Fa 1	Ankaramite β9
10122	2008	Pas de la Cère, dans les gorges de la Cère	Dans avalanche de débris	Ankaramite β9
11860	21/08/20	St Simon Jordanne	21A premier virage	Basalte à néphéline.
11861	21/08/20	St Simon Jordanne	21B premier virage	Basalte à néphéline.
11862	21/08/20	St Simon Jordanne	21C second virage	Trachybasalte
11954	21/08/20	Franconèche, sommet du volcan	12	Basalte aphyrique β

β et **β9** sont les codes de la notice de la carte géologique 1/ 50 000, feuille Murat, pour les basaltes et basanites et ankaramites.

Vallée de la Cère, voir carte de la **figure 7**. Les deux premières lames, décrites dans une même fiche, caractérisent l'ankaramite du site patrimonial de la cascade de Faillitoux, au fond de la vallée de Lasmolineries (vallée de la Cère). **10122** a été taillée dans un gros bloc de dimensions métriques dans les gorges de la Cère, au niveau du « Pas de la Cère » ; il a été transporté dans l'avalanche de débris et déposé, mais la coulée d'origine n'est pas connue exactement (**β9** de la grande coulée de Lasmolineries probable, voir carte géologique de la **figure 10**).

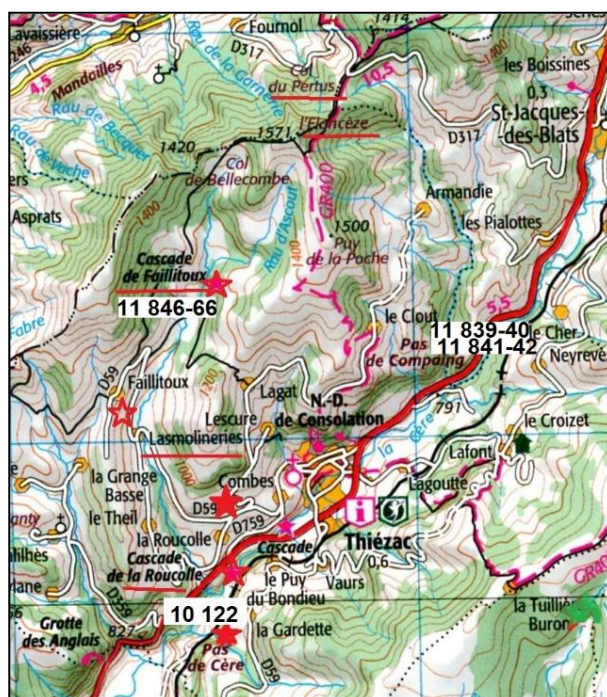
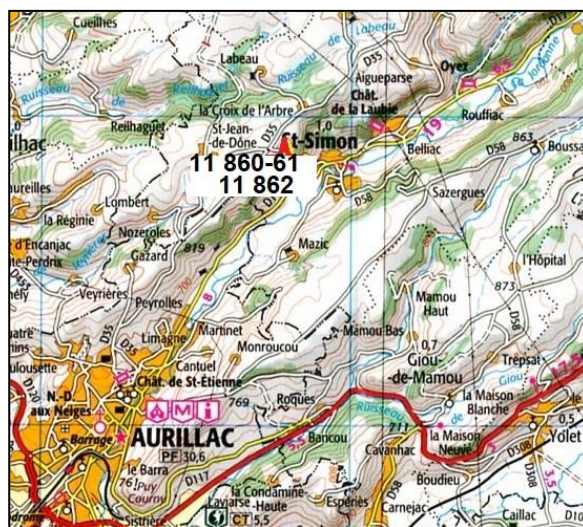


Figure 7. IGN 1/100 000. Sur le versant nord de la Vallée de la Cère, au voisinage de Thiézac : Cascade de Faillitoux. Également Pas de la Cère.

Vallée de la Jordanne, voir carte de la **figure 8** : **11860** et **1 861** ont été prélevés dans la coulée sur le talus de la route des crêtes (D35), au-dessus de St Simon. **11862** a été prélevé 200 mètres plus loin, également sur le talus de la route.

Figure 8. IGN 1/100 000. Sur le versant nord de la vallée de la Jordanne, à proximité de St Simon.



Vallée du Mars, voir carte de la **figure 9** : **11954** a été prélevé sur le petit volcan strombolien de La Franconèche, qui a été décapité par la grande avalanche de débris du versant nord-ouest. Voir également la localisation au paragraphe de la phase 3.

Figure 9. IGN 1/100 000. Le petit édifice strombolien décapité se dresse au-dessus du fond de vallée, au village de la Franconèche.

- **Phase 2.** Construction du **paléovolcan**, épisode des ponces. Rhyolite d'Armandie. Gabbros.

τa = Trachyandésite

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Code ou lieu échantillon	Nature
11839	22/08/20	Pont de pierre	PDP 3	Brèche polygénique de coulée de débris
11840	22/08/20	Pont de pierre	PDP 4	Rhyolite ρ
11842	22/08/20	Pont de pierre	PDP 6	Rhyolite ρ
11847	22/08/20	Elancèze	EI 1 sommet	τa
11848	22/08/20	Elancèze	EI 2 semelle	τa recuit
11849	22/08/20	Elancèze	EI 3 bloc pente	τa
11867	22/08/20	Pont de pierre		τa de brèche de progression
11871 11 872	23/08/20	Bataillouse 30 m au-dessus sentier	Coulée	τa à amphiboles
11873	23/08/20	Avant Puy Griou	23 C	Trachybasalte
11905	04/10/20	Piste col de Cabre, voisin du « grand tournant » D17	Dyke ou coulée ?	τa propylitisée

11906	04/10/20	Piste col de Cabre, voisin du « grand tournant » D17	Dyke ou coulée ?	Trachyandésite basaltique
11922 A et B	24/08/21	Le Fau, près Peyre del Cros	26	Brèche. Ponce

Abréviations : voir légende **figure 10**.

11840 et 11842 (un seul dossier) : la rhyolite dite d'Armandie, récoltée près du Pont de Pierre (carte ci-dessus, **figure 7**) est datée de 9,2 Ma ; c'est une des formations les plus anciennes du paléovolcan. (voir aussi l'extrait de la carte géologique BRGM, **figure 10**). La rhyolite a fait intrusion et coulée dans les brèches trachyandésitiques du Pont de pierre, représentées par **11839** et **11867**.

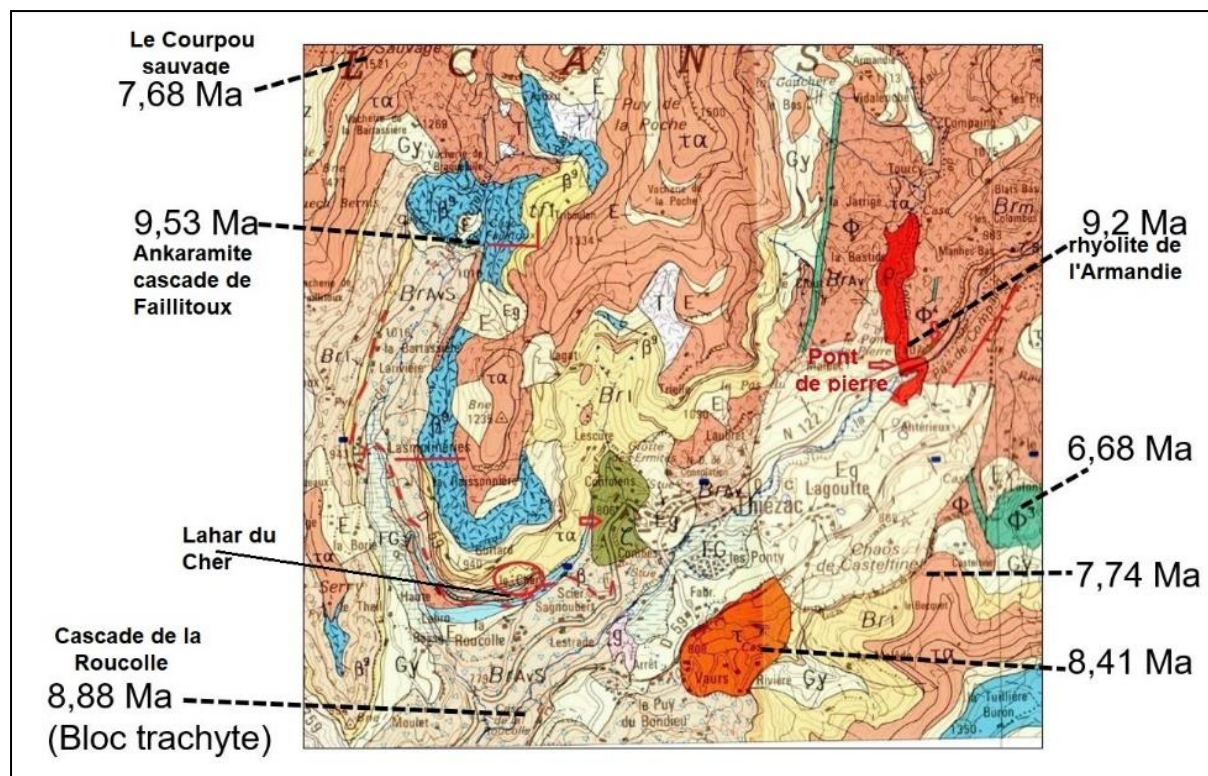


Figure 10. Extrait de la carte géologique au 1/50 000, feuille Murat. En ajout, mentions de datations de sites, issues des tableaux de la notice. Symboles : τ = trachyte, $\tau\alpha$ = trachyandésite, Φ = phonolite, β^9 = ankaramite, ρ = rhyolite, **Brl** = brèche de coulée de débris et de lahar, **BrAvS** = brèche d'avalanche de débris, **Brm** = brèche de progression.

11847, 11848, 11849 : l'Elancèze, centre éruptif important du paléovolcan, est considéré comme un des plus beaux belvédères de sud du Cantal ; il est voisin (à 2 km à l'est) du Courpou sauvage (tout en bas à gauche sur la carte de la **figure 11**). C'est un dôme de trachyandésite, daté de $8,8 \pm 0,25$ Ma.

11871, 11872 (un seul dossier) : Le Puy de **Bataillouse** fait également partie du paléovolcan (**figure 11**). Dans l'atlas, il donne un exemple de brèche de progression en position proximale, trachyandésitique. Sa datation n'est pas connue.

11873 a été échantillonné au col de Rombière, à quelques centaines de mètres des précédentes au-dessus du sentier conduisant au Puy Griou. (**figure 11**).

11905 est une trachyandésite prélevée sur la piste du col de Cabre, qui part du « grand tournant » de la route D17 conduisant du fond de la vallée de la Jordanne au Pas de Peyrol. Son seul intérêt est d'être le témoin de l'intense altération (propylitisation) des roches volcaniques dans le voisinage du massif intrusif hypovolcanique des gabbros de la ferme Lacoste (étoile blanche sur la carte de la **figure 11**, voir les lames **11910** et **11912**).



Figure 11. Carte IGN au 1/100 000 dans la région centrale à relief aigu, du paléovolcan (stratocône).

11922 A et B proviennent du plus important témoin des petites nappes de ponce émises à la fin de l'édification du paléovolcan : elles sont datées de $7,94 \pm 0,04$ Ma. Il s'agit de brèches, avec fragments cendro-ponceux mélangés avec d'autres pyroclastites.

Nous mettons à part le petit **massif hypovolcanique** d'intrusion, dit de la ferme Lacoste (Hte vallée de la Jordanne), tableau des lames minces ci-dessous. Il est daté de 7,8 à 8,1 Ma et s'est produit juste avant la période des effondrements, ou il en est contemporain. **Figures 11, 12.** La mise en place du laccolite¹ s'est accompagnée d'une injection intense de fluides hydrothermaux qui ont été la cause de la propylitisation des trachyandésites dans un rayon de 2 à 3 km, illustrée par les altérations observées dans la lame 11905.

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
11 910	04.10.20	Lacoste	Repère 1	Gabbro-syénite
11 912	04.10.20	Lacoste	Repère 2	Gabbro-syénite

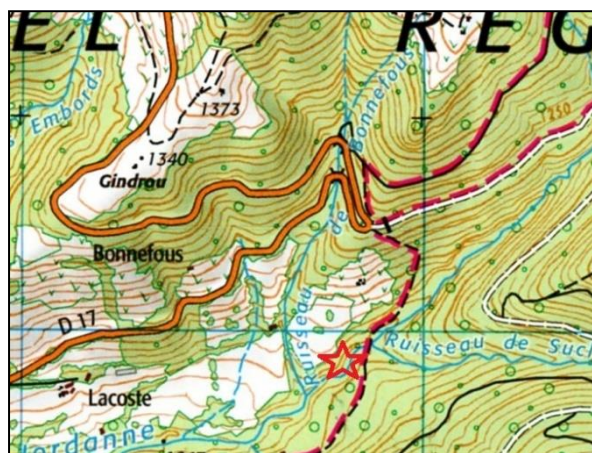


Figure 12. Extrait carte IGN 1/50 000. L'étoile rouge indique l'emplacement des prélèvements sur un des petits affleurements du massif hypovolcanique en contrebas du grand tournant. A raccorder à la figure 11 dont elle est un détail agrandi. Les échantillons repères 1 et 2 sont en fait très voisins et sont au confluent entre les ruisseaux de Bonnefous et de Suclong avec la haute Jordanne.

¹ Massif de roche magmatique plutonique en grosse lentille, de plusieurs kilomètres, à surface inférieure plane, et surface supérieure convexe vers le haut;

- **Phase 3. Première partie, vallée du Mars. Effondrement du versant nord-ouest et dépôts d'avalanche de débris. La cicatrice fossile de l'effondrement, RN (Roche Noire).**

On a rassemblé ces deux groupes de lames, témoins d'un évènement majeur dans l'histoire du versant nord-ouest du complexe (articles Rossier D. et al. dans SAGA information).

Les abréviations sont celles de la carte géologique en référence : **Br av** = brèche d'avalanche de débris et **Br sv** = brèche stratifiée de versant.

Vallée du Mars – dépôts d'avalanches de débris

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
11931	22/08/21	Peubrélie, falaise	18 In situ	$\tau\alpha_1$ latite, dans Br av
11938 Voir 11939	22/08/21	Falaise Peubrélie.	19 In situ Clair gris bleu fluidal à gros grains	Dans Br av (brèche d'avalanche de débris) : Limite entre $\tau\alpha$ et trachyte
11939	22/08/21	Falaise Peubrélie. Gris clair, gros grains	17 In situ	Dans Br av : Limite entre $\tau\alpha$ et trachyte

Versant nord-ouest

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
versant Nord-ouest	Roche Noire = RN	Cicatrice fossile et dyke de Roche Noire = RN	Cicatrice fossile et dyke	Cicatrice fossile et dyke de Roche Noire = RN
11876	24/08/20	RN. Versant nord sur la D17 en allant vers Pas de Peyrol	Ech A. Bloc scoriacé	Trachybasalte, soit $\tau\beta br$ pour l'unité de Rolland
11936	21/08/21	D 17 sous RN, versant sud.	Bloc 2-2 Mal consolidé	Dans brèche de versant Br sv : trachybasalte, soit $\tau\beta br$ pour l'unité de Rolland
11940	21/08/21	D17, sous RN, virage à gauche après dyke.	2-4 : bloc « rouillé », gris sombre	Br sv : bloc monogénique dans brèche de versant, $\tau\alpha$ à hypersthène (latite)
11941	21/08/21	Dyke sous D17 (vallée Jordanne) 1488 m	1-2 : petit bloc bulleux, scoriacé	$\tau\alpha$
11942	21/08/21	D17, sous RN, versant sud,	Bloc 2-3	Dans brèche de versant Br sv : trachybasalte, soit $\tau\beta br$ pour l'unité de Rolland
11958	21.08	D 17 sous RN, versant nord	Bloc 7-1	Trachybasalte vésiculaire, soit $\tau\beta br$ pour l'unité de Rolland
11959	21.08	D 17 sous RN, versant nord	Bloc 7-2	Trachybasalte non vésiculaire, soit $\tau\beta br$ pour l'unité de Rolland
11961	21.08	D17 versant sud, vallée Jordanne	Bloc 2-1	Dans brèche de versant Br sv : bloc de $\tau\alpha$
11976-1 et 2	21/08/21	Dyke sous D17, face vallée Jordanne	Bloc 1-2	Trachyandésite vésiculaire, mugéarite

Dans la première partie du tableau, trois lames **11931, 11938 et 11939** figurent les prélèvements effectués sur la falaise au-dessus des Palières. La falaise est constituée de panneaux géants empilés par l'avalanche de débris du versant nord-ouest. Carte de la **figure 13**.

Dans la seconde partie, une dizaine de prélèvements ont été nécessaires pour cartographier l'environnement du lieu-dit Roche Noire (RN) et confirmer l'hypothèse de cicatrice fossilisée du mur d'effondrement. Carte de la **figure 14**. Les cartes adaptées des agrandissements de la carte géologique (feuille Murat) sont extraites des articles cités (Rossier D, BAYAERT B, GRIMAUT Y, SAGA information) : **figures 15 et 16**.



Figure 13. IGN 1/50 000. Les flèches indiquent les lieux de prélèvements in-situ dans deux panneaux distincts, des échantillons relatifs à 11931 et 11938 -11939

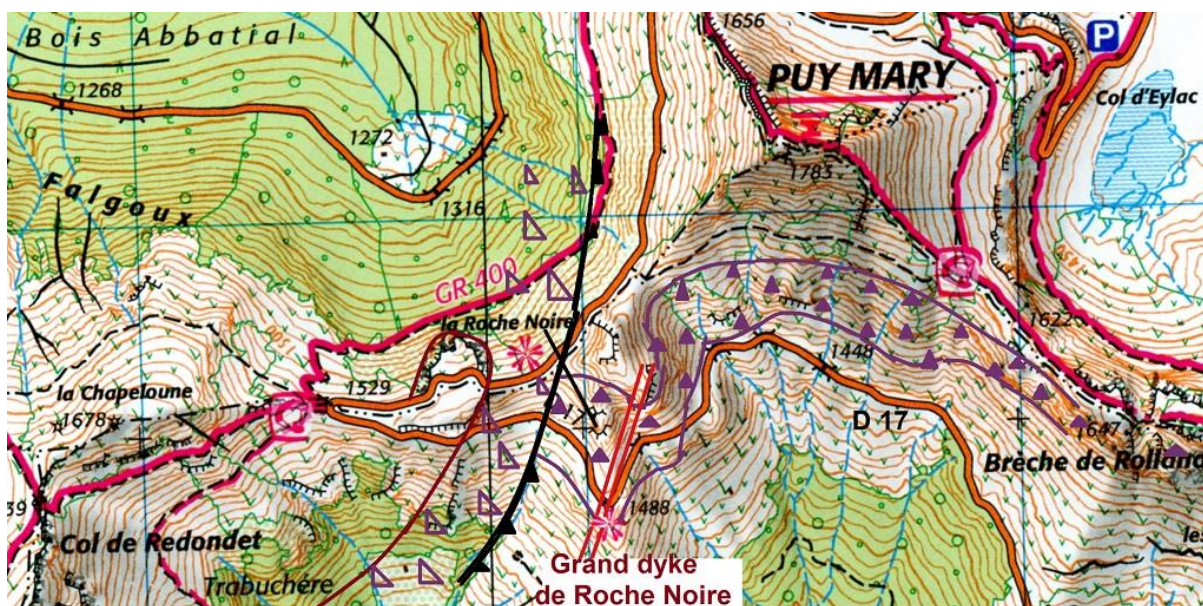


Figure 14. Détail de la carte IGN, 1/50 000, avec indications de la D 17, du sommet topographique de Roche Noire (RN) relié par le trait noir à l'inscription du nom. Nous avons reproduit sur la carte le tracé de la coulée de trachybasalte scoriacé de l'unité de Rolland (petits triangles violets ▲). Nos propres observations aboutissent à modifier ce tracé dans son extension entre RN et le Puy Mary (articles SAGA information cités ci-avant). Echelle donnée par la distance de 1000m entre deux lignes bleues du quadrillage. IGN 1/50 000.

Roche Noire (désignée par l'abréviation **RN**) est un sommet escarpé sur la crête qui joint la Chapeloune au Puy Mary. La D17 montant de la Haute Jordanne doit le contourner par un grand virage en épingle à cheveu pour rejoindre le Pas de Peyrol. Le virage est situé sur le col dont la cote sur la carte est 1529 m, et d'où part le sentier du col du Redondet (voir néovolcan).

Tout d'abord, les lames **11876, 11958, 1 959** : le trachybasalte **τβbr** est un marqueur essentiel pour la description de l'aboutissement sur **RN**, de la grande coulée de l'unité de Rolland. Elle a été récoltée en bordure de la branche nord de la D17, dans les grands bancs noirs (d'où le nom « Roche Noire ») entre **RN** et Pas de Peyrol.

RN est armée par au moins un grand dyke, d'orientation nord-sud bien visible dans la montée : **11941, 11976 (1et 2)**. Le dyke est signalé sur la carte de la **figure 14** par deux traits parallèles en rouge.

Un accident interrompt le flanc ouest de **RN**, flanqué d'un talus raide de brèche stratifiée de versant **Br sv** : c'est la cicatrice fossilisée présumée du mur d'effondrement. Nous en avons dessiné le tracé sur la carte IGN(**fig 14**) par un arc noir denté, d'un rayon d'environ 2500 mètres. La brèche stratifiée de versant est poly-lithologique comme le montrent nos analyses. On peut comprendre le terme de « **brèche de versant** », comme résultant du déversement des débris de remobilisation, dont ceux des trachybasaltes, lors de l'effondrement. Voir **11876, 11936, 11940, 11942, 11961**. Le néovolcan (brèches de progression trachyandésitiques en bistre avec chevrons rouges sur la carte de la **figure 15**) apparaît quelques 120 mètres après l'accident du flanc ouest. Ce sont des coulées trachyandésitiques qui ont scellé le mur d'effondrement. Analyse dans la quatrième phase.

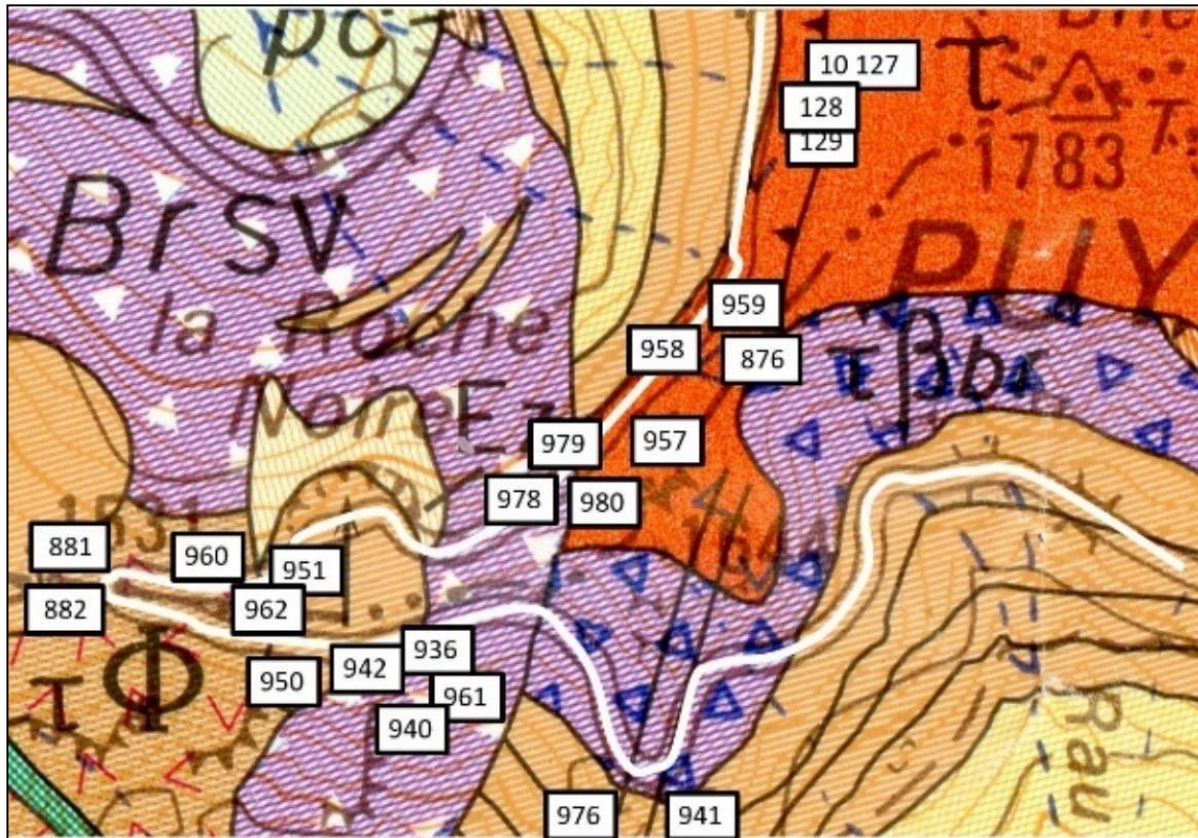


Figure 15. Sur cet extrait de la carte géologique, nous avons reporté les localisations des prélèvements qui ont servi à la cartographie de la zone comprise entre le col du grand virage à gauche (départ de Redondet) et les nuées ardentes trachytiques à la base de Puy Mary à droite. Le tracé de la D17 est accentué par un trait blanc. Noter le tracé de la coulée de trachybasalte **τβbr** de l'unité de Rolland, et celui de la brèche de versant **Br sv**. Immédiatement à l'ouest de l'étroite zone de brèche de versant (120 mètres de largeur) la D17 passe à travers une coulée épaisse en brèche de progression trachyandésitique, issue du néovolcan. Echelle : 1200 m à la base.

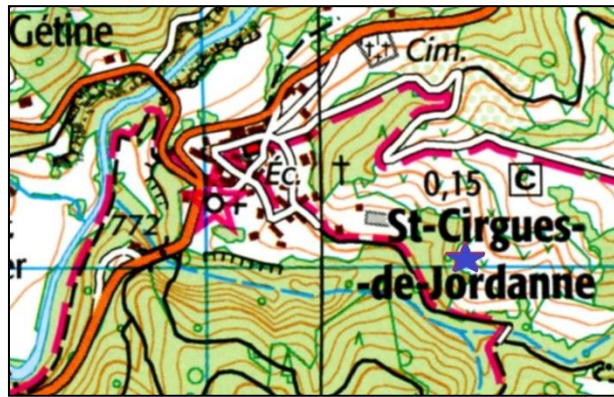
- **Phase 3, suite et fin. Effondrement du versant sud et dépôts d'avalanche de débris dans la vallée de la Jordanne.**

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
11863	21/08/2020	St Cirques de Jordanne	21 F bloc dans brèche Br av	τ a mugéarite
11864	21/08/2020	St Cirques de Jordanne	21 G bloc dans brèche Br av polygénique	Matrice trachyandésitique, lapilli de basalte et de trachyandésite. Fragment de ponce fibrée

Voir carte sur la **figure 16** ci-après.

figure 16

Etoile bleue : le panneau (trois mètres de haut) sur lequel a été prélevé **11863** se trouve au bord du sentier montant dans un vallon étroit, après le monticule (également panneau d'avalanche de débris) surmonté de la croix indiquée sur la carte. **11864** a été prélevé à proximité du panneau. IGN 1/50 000.



- **Phase 4. Edification du néovolcan et démembrement de ce dernier, versant nord-ouest**

Le **néovolcan** sur ce versant s'est reconstruit très rapidement après l'effondrement. On lui doit les reliefs vigoureux du versant nord-ouest du stratocône : la Chapeloune (6,97 Ma), le Puy Chavaroche et la Roche Taillade en sont de bons exemples. Les parties hautes des reliefs ont été rapidement érodés par l'action de l'eau, comme en témoignent les épais dépôts volcano-sédimentaires des conglomérats II du paragraphe 2.1 et de la figure 2b. Ils sont analysés à la fin de cette phase 4, grâce aux observations faites sur le repère volcano-stratigraphique de Las Costes au-dessus de la vallée du Mars.

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
11836	21/08/20	Roche Taillade		$\tau\alpha$
11879	24/08/2020	Roche Taillade	Ech F, 1600 m	$\tau\alpha$ à tendance mugéarite
11883	24/08/2020	Roche Taillade	Ech G versant ouest	$\tau\alpha$ à tendance mugéarite
11880	24/08/2020	Col du Redondet	Ech E, Col 1638 m	$\tau\alpha$ benmoréite
1 934	25/08/2021	Puy de la Tourte, crête, zone décomposée	37.1	$\tau\alpha$ à tendance mugéarite,
11935	25/08/2021	Puy de la Tourte, crête sud, 1670 m	37.2	$\tau\beta$ trachybasalte
11968	25.08	Puy de la Tourte, sommet	37-3	trachyandésite basaltique
11960	21.08	Coulée Chapeloune D17 dessus	5-2	$\tau\alpha$
11961	21.08	Coulée Chapeloune D17 dessous	5-1	$\tau\alpha$
11962	21.08	Coulée Chapeloune D17 dessus	5-1	$\tau\alpha$
11972	35/08/21	Chapeloune chapeau	Ech. Par Y. Grimault	$\tau\alpha$
11975	25/08/21	Pointe 1167, sentier découverte, cirque Falgoux	Ech. Par Y. Grimault	$\tau\alpha$

Figure 17 –
néovolcan du
versant nord-ouest,
au dessus du
cirque glaciaire du
Falgoux. IGN
150000



Etoiles blanches, **figure 17** : localisations des trachyandésites prélevées sur Roche Taillade (**11836**, **11879**, **11883**), ainsi que au col du Redondet (**11880**) et sur la Chapeloune (**11972**).

Les prélèvements **11960**, **11961** et **11962** de la coulée dite de la Chapeloune sont localisés sur la carte géologique de la **figure 15**.

Le Puy de la Tourte (**11934**, **11935** et **11968**) est situé à l'opposé du Roc d'Hozières, de l'autre côté du cirque du Falgoux. L'intérêt de **11968** réside dans sa nature de trachyandésite basaltique.

- **Ph4 suite. Démembrement du néovolcan, versant nord-ouest. Brèches de dépôt et lahars avec coulées interstratifiées**

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
11943	24/08/2021	Las Costes, D30.	31-1 couche supérieure affleurement	Brl , boules « granulées », Gris clair, grains très fins, brèche stratifiée
11944	24/08/2021	Las Costes, D30	31-2 bloc de matrice.	Brl , petits feldspaths abondants. Fluidalité. Gris clair, bulleux par endroits
11945	24/08/2021	Las Costes, D30	31-3 paroi massive	ta , coulée ou nuée ardente interstratifiée dans Brl
11946	24/08/2021	Las Costes, D30	31-4 au niveau inférieur	Brl , matrice cendro- ponceuse

Brl désigne les complexes de type lahar, d'épaisseur plurimétrique, composés de brèches grossièrement stratifiées et hétérogènes. Les lahars de Las Costes sont typiques de ce point de vue. Ils sont disposés sur le talus à droite en montant, sur la D 30 qui prend son départ juste après la Peubrélie et monte au col d'Aulac. L'affleurement de Las Costes est à 1040 m, au-dessus d'Espinouze qui est au fond de la vallée à 840 m d'altitude, donc 200 m plus bas ; les coulées de débris du lahar apparaissent (**11943**, **11944**, **11946**) sous une coulée interstratifiée représentée par **11945**. Carte **figure 18**.

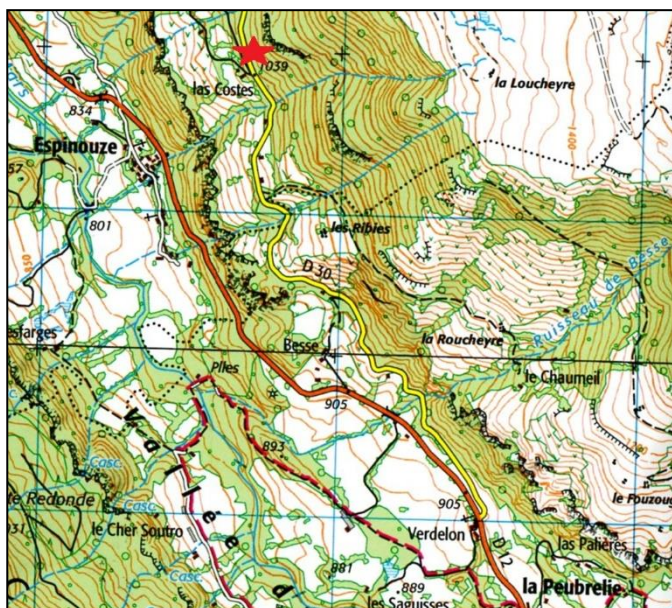


Figure 18 : affleurement de Las Costes, localisé au bord de la route d30 du col d'Aulac, indiqué par la croix rouge. La falaise de l'avalanche de débris est bien visible sur la carte, 80 m plus bas. IGN 1/50 000.

- **Phase 4, suite et fin. Démembrement du paléo ou néo (?) volcan, versant sud. Brèches de dépôt et lahars de la vallée de la Jordanne.**

11843	22/08/20	Cher	Ch1	<i>Brl</i> , lahar : tuffite, lapillis
11845	22/08/20	Cher	Ch3	<i>Brl</i> , lahar : tuffite, lapillis

Localisation : voir figures 7 et 10.

- **Phase 5. Coulées, dômes et dykes de téphriphonolite et de phonolite**

Toutes ces formations, dont certaines à valeur patrimoniale comme le Puy Griou, centre géométrique du stratocône, sont postérieures à la phase d'effondrement. Elles peuvent être contemporaines de l'édification des néovolcans, ou postérieures. Compte tenu de difficultés rencontrées dans l'exploitation des lames minces extraites du Puy Griou, nous avons renoncé à les exposer.

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
11830	21/08/20	Roc d'Hozières	Ouest, Ech 1	Phonolite miaskitite, groupe sodalitique
11833	21/08/20	Roc d'Hozières	Mi-hauteur Ech 3	Phonolite miaskitite, groupe sodalitique
11834	21/08/20	Roc d'Hozières	Bas Ech 4	Phonolite
11835	21/08/20	Roc d'Hozières	sommet	Phonolite
11877	24/08/2020	Dyke Chapeloune arrêt 2	Ech D	Phonolite miaskitite, groupe sodalitique.
11878	24/08/2020	Dyke Chapeloune arrêt 2	Ech D	Phonolite miaskitite, groupe sodalitique.
11868 11869 11870	23/08/2020	Sentier col de Cabre, Au-dessus des Rombières	Ech GT A	Téphriphonolite à Haüyne

11830 à 11835 : phonolites aphyriques prélevées par Bruno Beyaert en différents points du versant ouest du Roc d'Hozières, pour des raisons d'accessibilité : cliché de la **figure 19**. Etoile rouge sur la carte **figure 17**.

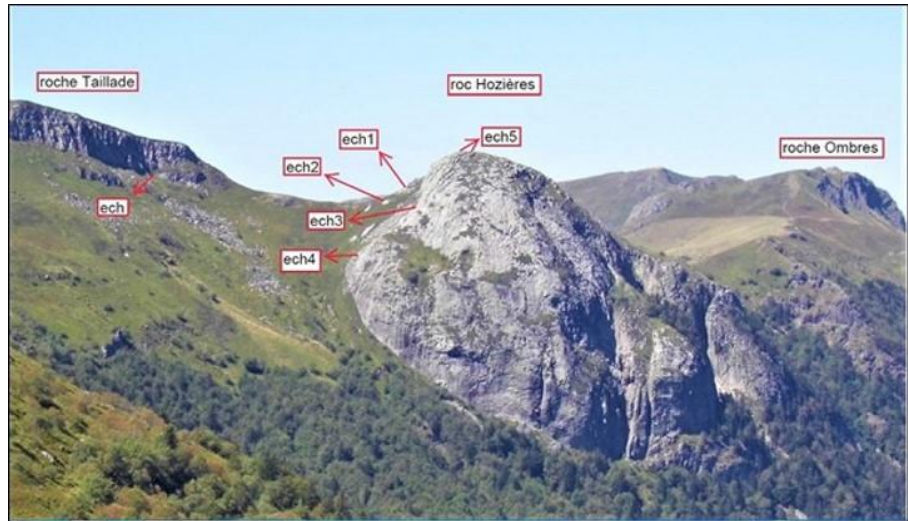


Figure 19. Roc d'Hozières, vu depuis le sentier issu du col du Redondet. A gauche, Roche Taillade. Cliché Bruno Beyaert

11877 et **11878** ont été taillées dans un prélèvement sur le dyke de la Chapeloune, que l'on découvre en suivant le sentier issu de la D17 pour monter au col de Redondet : étoile rouge sur la carte **figure 17**.

Dans l'alignement du Roc d'Hozières dans le dos, vue du Puy Griou depuis le dyke : **figure 20**. Voir aussi la carte **figure 11**.

L'affleurement sur la piste du col de Cabre, au-dessus du buron des Rombières, est bien représentatif des émissions de tephriphonolite (ordanchite) de la dernière phase : **11868** à **11870**. Il est remarquable par le caractère porphyrique, la diversité des minéraux et l'excellent état de la roche. Carte **figure 21**.



Figure 20. Dans l'alignement des phonolites du Cantal, au fond : groupe du Puy Griou, avec Usclade et Griounet. Cliché D.Rossier.



Figure 21. A 1400 m d'altitude, sur la piste du col de Cabre, sous le Puy de Peyre Arse, coulée de tephriphonolite/ordanchite. (IGN 1/50 000).

- **Phase 6. Trachytes et nuées ardentes trachytiques du Puy Mary**

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
10 127 10 128 10 129	2008	Puy Mary Arête nord est	Dôme	Trachyte
11881 11882	24/08/2020	D 17 Epingle à cheveux 1529 m	Ech C	Brèche nuée ardente, trachyte à sanidine et tridymite
11966	23/08/21	Base Puy Mary D17. Pkg du personnel	25	τ nuées ardentes trachytiques
11980 11981 11982	21/08/21	D 17 placage sous RN	6.1 6.2 6.3	τ nuées ardentes trachytiques

De **10127** à **10129**, ce sont des prélèvements in-situ sur le Puy Mary, tandis que toutes les autres lames ont été taillées dans les brèches de nuées ardentes trachytiques, résultant de l'explosion à la base, et récoltées de la base du Puy jusqu'au tournant en épingle à cheveu sur la D17 et coté à 1529 m. (départ sentier du col de Redondet). Carte de la **figure 14**. Seules les lames **11881** et **11882** ont été retenues pour figurer dans l'atlas : elles permettent d'identifier la présence de tridymite dans les vésicules. Toutes les autres sont disponibles en atelier.

- **Phase 7. Basaltes et basanites « Supra cantaliens ».**

Les échantillons étudiés proviennent d'une part des planèzes au nord de Murat (Brujaleine et Brugiroux), d'autre part des planèzes qui dominent la vallée du Mars (Suc de Rond, col d'Eulac, Roc du Merle et Puy Agneau).

N° L.M.	Date recueil	Lieu recueil	Description échantillon	Nature
10125 A	2008	Les Chazes (Lioran)	Dyke	Basanite mésocrate, à néphéline λ
10125 B	2008	Les Chazes (Lioran)	Dyke	Basalte serpentinsé et lessivé. Zéolites
10121	2008	Brugiroux	neck	Basanite à néphéline λ
11956 11924	24/08/21	Suc de Rond	34-1 34-2	Basanite à néphéline λ
11925	24/08/2021	Col d'Eulac. Coulée sur D30	32 Friable	Basanite à néphéline et leucite β^8
11932 11933	25/08/2021	Roc du Merle, éboulis route D680	35	Basanite, β^8
11974	25/08/21	Puy Agneau, col Néronne	Prélevé par Yves Grimault	Basalte β^8
10131 10132 10133	2008	Brujaleine haut, sur la Planèze		Basanite, à néphéline et analcime
10134	2008	Brujaleine bas village		Trachybasalte

10131, 10132 et 10133 réunis en un seul dossier référencé **10131 Brujaleine haut.**

11932 et 11933 réunis en un seul dossier référencé **11932 Roc du Merle.**

11924 et 1 956 réunis en un seul dossier référencé **11956 Suc de Rond.**

4. Bibliographie

- **Publications dans Saga information :**

Leyrit H. et Nehlig P. (2001), *le strato-volcan du Cantal*. Saga information, N°210, octobre 2001.

Christine Da Boa Vista, Saga information N° 296, avril 2010.

Catherine Berthoux, Jean Louis Fromont et Roland Mahérault. *Cantal, le retour !* Saga information, N°381, mars –avril 2021

Rossier D., Beyaert B. et Grimault Y., *effondrement et reconstruction du strato-volcan du Cantal versant nord-ouest. Première partie : repères stratigraphiques de la vallée de Mars, dans sa partie proche du strato-volcan*. Saga information, N°394, octobre 2023.

Rossier D., Beyaert B. et Grimault Y., *effondrement et reconstruction du strato-volcan du Cantal versant nord-ouest. Seconde partie : La cicatrice fossile de l'effondrement, la Roche Noire*. Saga information, N°399, mars-avril 2024.

- **Publications dans d'autres revues scientifiques :**

Remarque préliminaire. Parmi la documentation extrêmement volumineuse, nous ne citons que les publications des dernières décennies qui se sont révélées utiles dans notre travail, en particulier sur l'effondrement du versant nord-ouest du complexe. Beaucoup de documents cités, par exemple dans la notice de la carte géologique BRGM, sont très difficiles d'accès comme les thèses, ou même inaccessibles !

Varet J., (1969), *Les phonolites agpaïtiques et miaskitiques du Cantal septentrional*, bulletin of volcanology, XXXIII-2.

Le Maître et al. (1989), *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackweel Oxford.,

Bourdier J-L. et al. (1989). *Volumineux dépôts d'avalanches de débris sur les versants sud et ouest du Cantal...* C.R.Acad.Sci. Paris, t 309, sériell.

Cantagrel J-M., (1995), *Avalanches et coulées de débris dans un volcan complexe intraplaque : vers un nouveau schéma volcano-structural du massif du Cantal...*Bull. Soc. Géol. France, t.166, n°3

De Goer de Herve et al., (1966), *les ordanchites et roches affines du massif du Cantal*. Bull. Soc. géol. De France. (7) VII.

Fréour G., (1998). *Modèle d'évolution volcano-structural du Cantal : rôle et répartition des déstabilisations de flancs de volcans en zone proximale (Cantal, France)*. Mémoire de géologie, 5^{ème} année, n°89, IGAL, Cergy, 2 tomes. (il n'a pas été possible d'accéder à ce document).

Platevoët R. et al., (2000), *les formations pyroclastiques du volcan Cantal...*Géologie de la France, 4.

Nehlig P., (2001). *Notice de la carte géologique à 1/50 000, feuille Murat n°788*. BRGM

Nehlig P. et al., (2001), *constructions et destructions du stratovolcan du Cantal*, Bull.soc.geol. de France, 172, 3.

Nehlig P. et al., (2001), *Les dépôts d'avalanche de débris du strato-volcan du Cantal : témoin de la construction du plus grand volcan européen péri-alpin*. J.Géomorphologie, 2.

Arnaud N. et al. (2002). *Les lahars du flanc nord-ouest ...*, Géologie de la France, N°1.

Nehlig P., (2019) dans *histoire de la découverte géologique du Massif central français*, mémoire de la société d'histoire naturelle d'Auvergne.

Maury René C. et Brousse R., (1978). *Présence de la pigeonite et d'orthopyroxène dans certaines laves du Massif central...*Bull. Minéral. 101.

Schneider J.L. et al., (1998). *Transport and emplacement mechanisms of large volcanic debris avalanches : evidence from the northwest sector of Cantal volcano*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 83.

- **Guides :**

Nehlig P., (2007). *Le volcanisme du Cantal*, BRGM éditions, Chamina.

Fillias F. et al., (2012), *guide géologique d'Auvergne*, Omniscience et BRGM éditions

Leibrandt S. et al., (2017), *guide géologique du Cantal*, Omniscience et BRGM éditions