EXCURSION GEOLOGIQUE « GEOSCIENCES 15 »

8 OCTOBRE 2008

Arnaud DARDON géologue

Sébastien COUDERC Anne NELY

Collège des Portes du Midi (Maurs) – Lycée Emile Duclaux (Aurillac)

SOMMAIRE

Présentation de la journée (déroulement, type d'approche, localisation du circuit sur la carte géologique.

Arrêt 1 : socle de Thiézac

Mise en place de la problématique cantalienne

Arrêt 2 : les dépôts de l'avalanche de débris de la vallée de la Cère (Pas de Compaing)
Une des clés permettant de comprendre le volcan du Cantal.
Objectif et contenu :

- Connaissance de l'un des évènements majeurs de l'histoire du Cantal
- Identification et caractéristiques des dépôts d'avalanches de débris (zone proximale)
- Conséquences sur la morphologie du Cantal

La zone centrale du strato-volcan

Arrêt 3 : le trachyte des Chazes
Objectif et contenu :

- Connaissance de la zone centrale du strato-volcan et les débuts de l'histoire du volcan – Dynamismes et morphologies associées aux laves acides
- Observation de la lame trachytique des Chazes, des filons et de la brèche adjacente
- Discussion sur les caractéristiques de la zone centrale

Arrêt prévu mais annulé en raison des intempéries :
lecture de paysage (Haute vallée de la Cère à proximité du col de Font de Cère)
Objectif et contenu :

- Mise en place de la stratigraphie du centre du massif volcanique du Cantal
- Replacer les grandes étapes de l'histoire géologique à travers les vestiges observables et la géomorphologie : empilement de coulées, protrusions, cirque glaciaire

Arrêt 4 : l'ancien lac de lave de Chastel sur Murat
Objectif et contenu :

- Découverte de la dernière phase d'activité du Cantal
- Observer le basalte et les figures associées au refroidissement de la lave
- Discussion autour des morphologies d'origine glaciaire

Arrêt 5 : la carrière d'extraction de diatomite à Foufouilloux (proche de Murat)
Objectif et contenu :

- Formation du site de Foufouilloux, chronologie des évènements et implications climatiques
- Utilisation actuelle de la diatomite
- Fonctionnement de la carrière et transformation de la diatomite
- Observation de quelques débris végétaux fossiles dans la diatomite

Conclusion et bilan

Le volcan est cantalien très grand => dimensions difficiles à appréhender localement, surtout par les élèves.

De plus, son aspect et son altitude ont été modifiés par les écroulements (⇔ avalanches de débris) et par l'érosion (glaciaire, fluviatile, de ravinement,…).

Affleurement N°1 : socle de Thiézac

Au niveau de la cascade du ruisseau de Lagat : gneiss/micaschiste + lentilles de Quartz, recouverts (non visibles à ce niveau de l'affleurement) par des roches sédimentaires (calcaire + calcaire dolomitique + marnes et argiles).

Les formations métamorphiques correspondent probablement à un horst plus ou moins dégagé par l'érosion (la dislocation du socle est associée à la distension Oligocène mais un déplacement relatif des compartiments (pendant une remontée générale ?) a certainement dû se produire pendant le Miocène lors de la période d'activité volcanique, avec réactivation de failles normales.

Au-dessus, on peut observer des formations volcaniques s.l. variées (lahars = coulées de débris + dépôts d'avalanche de débris (voir plus bas) selon les secteurs)

Socle métamorphique de Thièzac

On retrouve les roches du bassin sédimentaire un peu en amont de Thiézac (notamment à Lagoutte et au niveau du pont routier de la déviation où elles ne sont plus en place (blocs basculés) ou comme blocs éparses dans les dépôts d'avalanche de débris (à partir de Thiézac et jusqu'à Arpajon sur Cère).

Observations depuis la nationale 122 :

Chaos de Casteltinet

Formé ultérieurement, après la fonte des glaciers par décompression et déstabilisation d'une partie du flanc de la vallée.

Colonnes prismatiques constituant la partie haute de la falaise : ancienne coulée trachy-andésitique ayant emprunté une (paléo-)vallée latérale, surmontant des coulées de boue et de débris (empilement de lahars avec bois carbonisé) interstratifiés avec des coulées de laves, elles-mêmes surmontant des formations cendro-ponceuses.

NB : hameau de La Goutte construit sur les matériaux ayant glissé. Sous ces matériaux (dépôts d'avalanches de débris ?), marnes à planorbes et limnées + débris végétaux : aptitude au glissement du chaos s'explique.

Ombilic + verrou glaciaire : verrou : roches + résistantes face à l'érosion glaciaire ; en aval de Thiézac (Pas de Cère) et en amont (Pas de Compaing) => « bassin » de Thiézac (ombilic) entre ces 2 verrous.
Un torrent sous-glaciaire a probablement commencé à éroder le verrou lors du recul du glacier puis creusement (érosion fluviatile) et enfoncement de la rivière après la disparition complète du glacier, d'où les gorges de la Cère à ce niveau de la vallée.

Affleurement N°2 : avalanche de débris du Pas de Compaing (ancien verrou glaciaire)

Bordure nationale 122
Formation géologique ayant permis de comprendre un aspect primordial du volcanisme cantalien.
En effet, l'observation de l'éruption du Mont St Helens en 1980 et de ses dépôts d'avalanches, a permis de comprendre l'origine d'une grande partie des brèches cantaliennes.

Dépôt proximal d'avalanche de débris

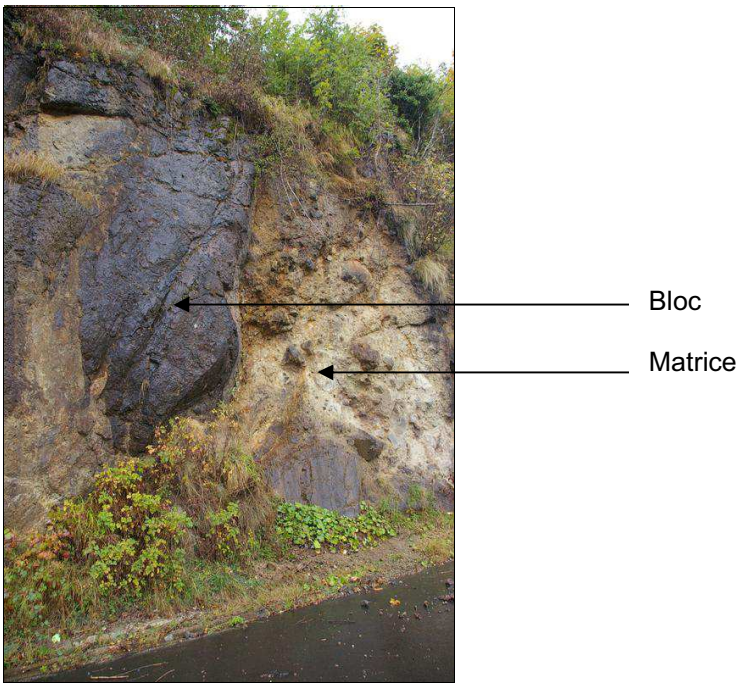
Dépôts d'avalanche de débris :
⇔ Écoulements denses avec des blocs de taille différente, surtout d'origine volcanique, emballés dans une matrice (particules les plus fines) ; ils sont dus à de gigantesques glissements de terrain (des pans du volcan se sont écroulés).
Caractéristiques de ces dépôts : non stratifiés à aspect chaotique, à éléments anguleux, diversifiés lithologiquement, hétérométriques et mal classés.

Au niveau de l'affleurement, les matériaux sont variés (couleur et taille), brèche trachy-andésitique et morceaux de coulée de lave (panneaux décamétriques) et niveaux jaunâtres ⇔ matrice altérée plus ou moins ponceuse.

Les dépôts d'avalanches de débris se retrouvent fréquemment chez les grands volcans qui dépassent assez rarement 3000 m d'altitude car ils s'effondrent.

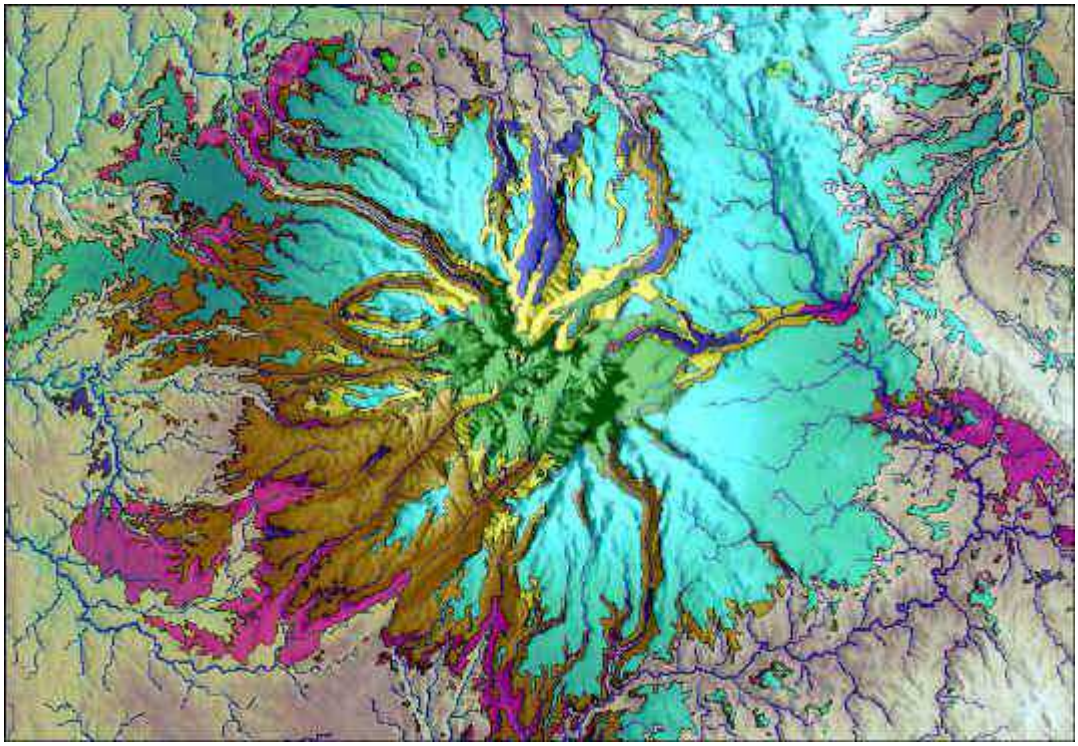
Affleurement N°2 (suite)

Quelques mètres en remontant depuis le parking vers le Lioran: ancien virage désaffecté.



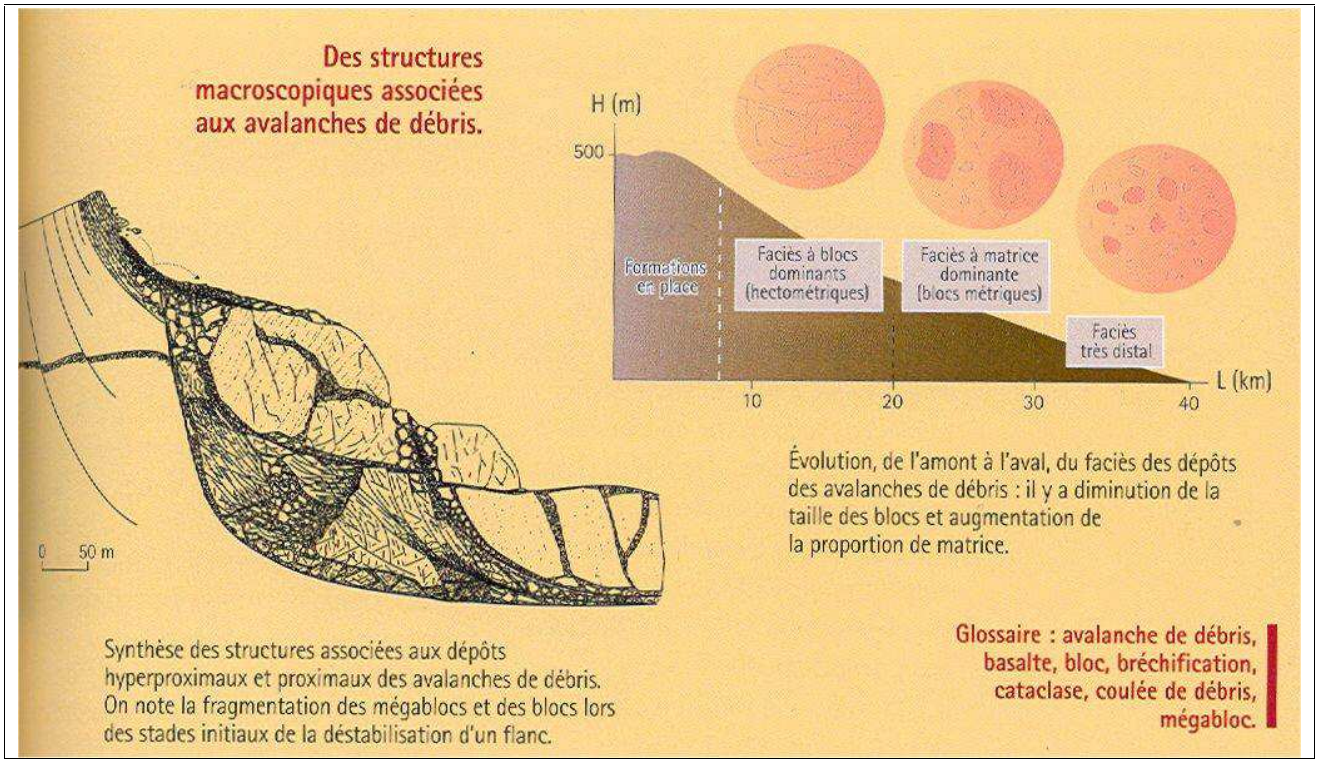
Avalanche de débris

A l'échelle du massif :



Les avalanches de débris et les formations associées du Cantal sont représentées en brun sur la carte.

Point de départ de l'avalanche de débris :
Une avalanche de débris commence par un glissement puis évolue en écoulement, d'où les grandes distances parcourues (5 à 17 fois la hauteur de la chute). Dans le Cantal, il est difficile de cartographier le point de départ de ces formations.
On recherche sur le terrain des « cratères » ou « caldeiras » en fer à cheval ⇔ cicatrice de l'amorce de l'avalanche, 1 à 10 km de diamètre possible (1 à 3 km en moyenne).



« Le volcanisme du Cantal » Nehlig BRGM éditions 2007

L'écoulement est facilité par les gaz libérés.

- Zone proximale avec présence de très gros blocs ⇔ flancs du volcan, peu broyés ; présence de mégablocs proches les uns des autres comme sur cet affleurement proche du Puy Griou, avec assez peu de matrice.
- Zone distale : blocs + petits et proportion de matrice plus importante.

Variantes dans les dépôts :
Si une vallée profonde existe, l'avalanche de débris peut être canalisée => plus épaisse (Cf : Thiézac – Pas de Compaing et Pas de Cère).
En absence de vallée, dépôt en éventail.

Une corrélation a été établie entre la hauteur de chute et la distance parcourue par les dépôts d'avalanche de débris dans le cas de volcans japonais : ceci permet d'estimer l'altitude minimale du strato-volcan du cantal : environ 3000 m (2400 m de hauteur environ).

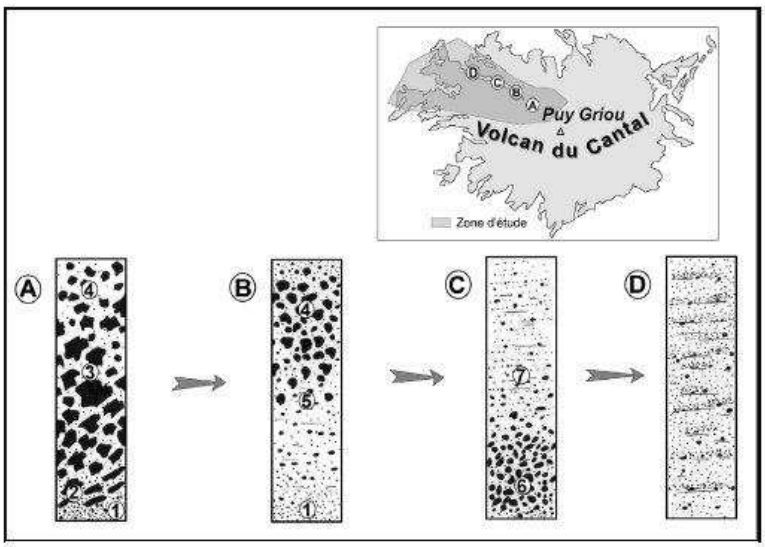
Age de ces dépôts :
4 grands glissements (minimum) au niveau du strato-cône cantalien :

- N et E Cantal (plus vieux que 7,4 Ma)

- NW Cantal (entre 7,2 et 7,4 Ma) : vallée de la Bertrande ou du Mars par exemple

- W et SW entre 7,4 Ma et 6,8 Ma selon les secteurs ; vallée de la Cère : entre 6,8 et 7,4 Ma ; Jordanne entre 6,9 et 7,2 Ma ; Authre entre 7,2 et 7,4 Ma– Avalanches de débris particulièrement bien visibles, en bordure de route entre Aurillac et Mauriac

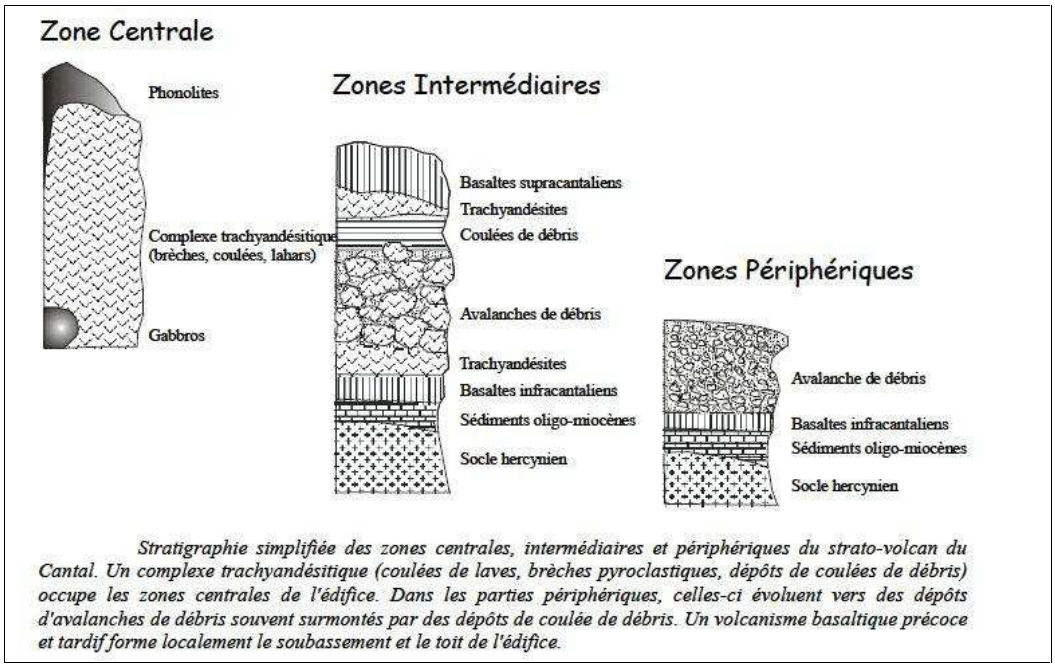
- S Cantal (plus jeune que 7,1 MA) : vallée du Goul : mégablocs de phonolite et de trachyte vers Raulhac – Route de Vic sur Cère à Carlat : beaux dépôts d'avalanche de débris ; vallées du Brezons et de l'Epie - Très belle superposition de bandes sinueuses et bréchiques dans les dépôts d'avalanches de débris de la vallée de l'Epi



Exemple d'évolution longitudinale de faciès type dans la vallée du Mars. (A) coulée de débris massive (Gmm), (B) coulée de débris classée (Gmg), (C) coulée hyperconcentrée (Gcn), (D) coulée hyperconcentrée évoluée (Sm). (1) sole à granulométrie fine, (2) zone laminaire avec allongement des clastes, (3) classement granulométrique « chaotique », (4) support matriciel, (5) classement granulométrique inverse, (6) support clastique, (7) classement granulométrique normal.

BRGM

Evolution des faciès d'avalanche de débris
(Vallée du Mars)



Stratigraphie simplifiée des zones centrales, intermédiaires et périphériques du strato-volcan du Cantal. Un complexe trachyandésitique (coulées de laves, brèches pyroclastiques, dépôts de coulées de débris) occupe les zones centrales de l'édifice. Dans les parties périphériques, celles-ci évoluent vers des dépôts d'avalanches de débris souvent surmontés par des dépôts de coulée de débris. Un volcanisme basaltique précoce et tardif forme localement le soubassement et le toit de l'édifice.

Pierre Nehlig et al. BRGM

Répartition des formations volcaniques cantaliennes

Affleurement N°3 : le trachyte des Chazes

Trachyte de la zone centrale du massif volcanique.

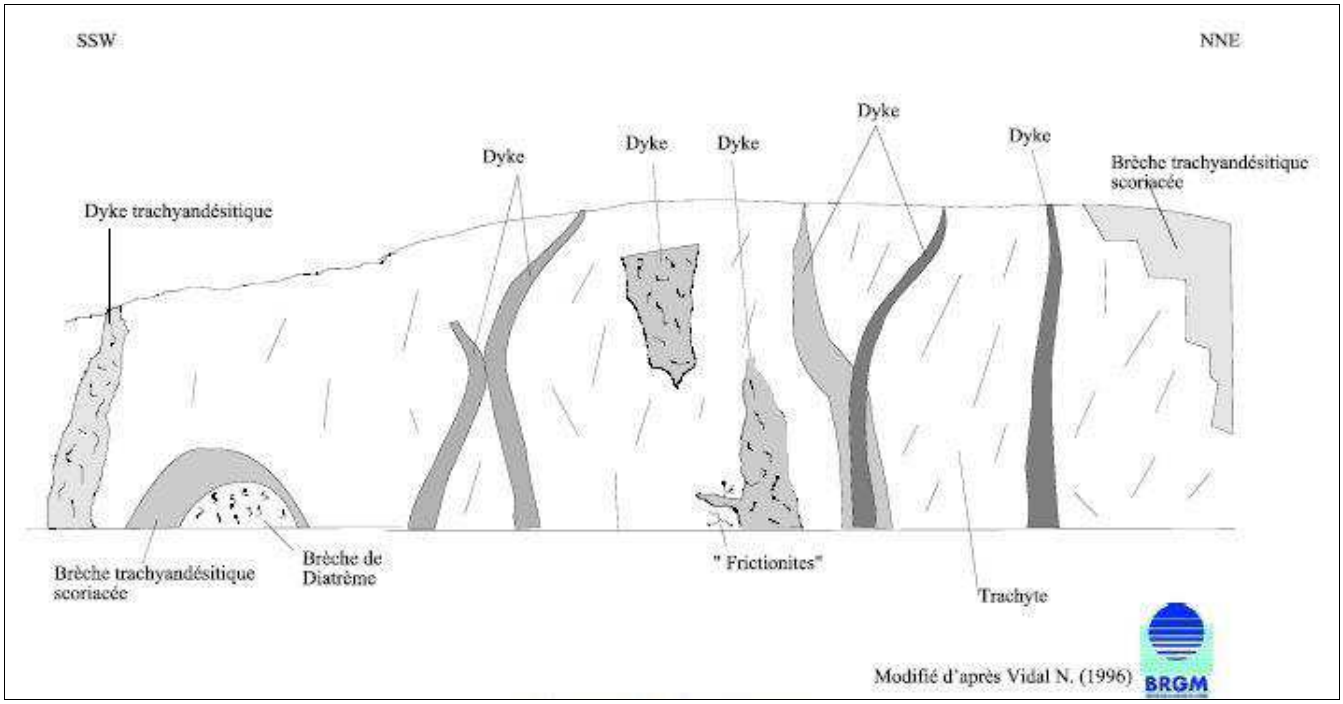
Face au restaurant, ensemble altéré ⇔ cœur du volcan fracturé, altéré et hydrothermalisé => ensemble argilisé + dépôts métallifères. Présence de filons. Idem le long des pistes du Lioran ⇔ cœur de l'édifice.

Quelques dizaines de mètres en remontant vers le tunnel, grand parking sur la droite :
le « trachyte des Chazes » s.s. affleure de l'autre côté de la RN 122 ; il renferme des cristaux centimétriques de sanidine et plurimillimétriques de plagioclase, de la biotite, englobés dans une pâte grise ⇔ roche différenciée.

Ensemble parcouru par plusieurs filons de basalte +/- larges et verticaux. On le décrit comme un dôme mais cela ressemblerait plutôt à une lame allongée perpendiculairement à la route ; une brèche trachy-andésitique violette (Cf Pas de Compaing) la limite sur la droite (amont vers les panneaux de signalisation).
Erosion différentielle : le trachyte résiste mieux que la brèche.
Présence d'une zone de cuisson avec bordure figée = frange gris noir en bordure N-NE de la masse trachytique

Situation en zone centrale, d'où les nombreux filons d'alimentation car situés au-dessus des réservoirs magmatiques => arrivée des magmas en surface (= lave) au niveau de cette zone centrale pendant toute la durée d'activité du volcanisme.

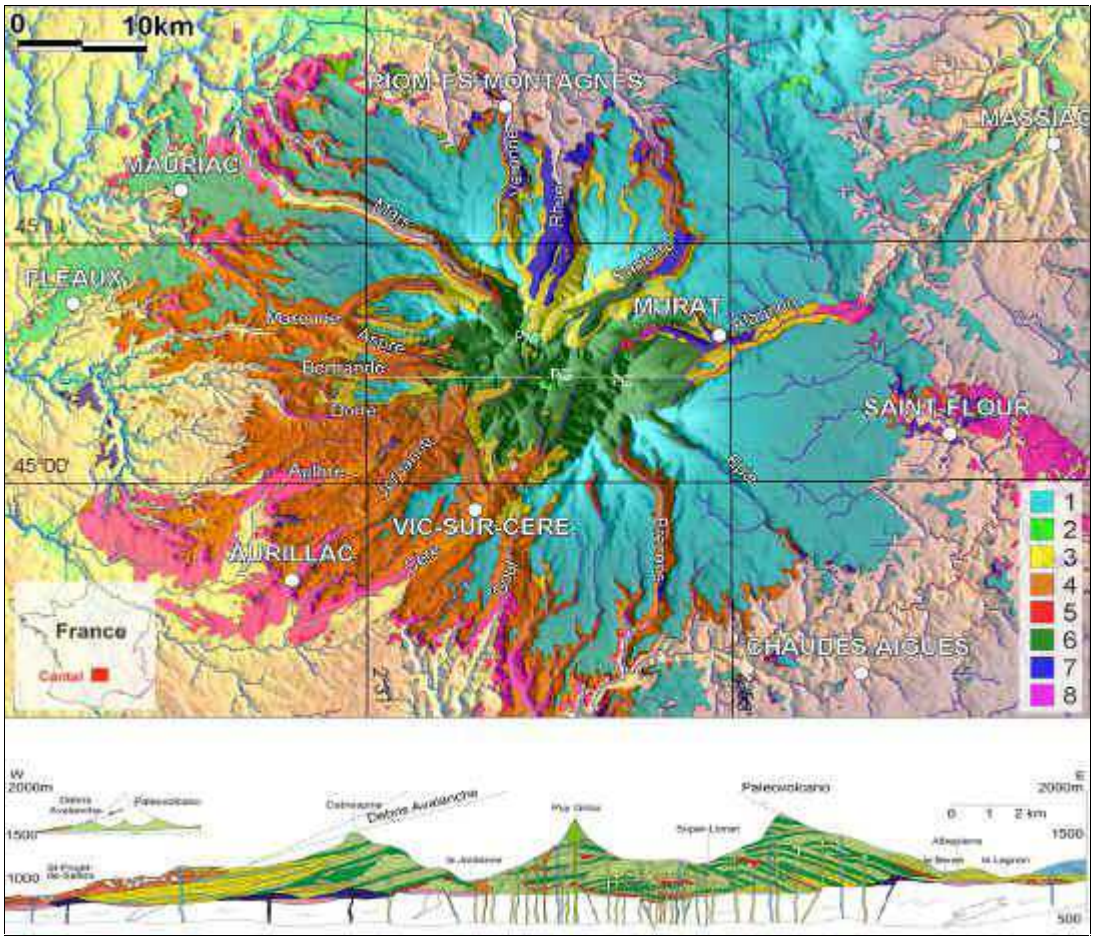
De plus, cette zone est profondément érodée => accès à des formations anciennes (9 à 10 Ma) et à des roches différenciées de composition rhyolitiques et trachytiques, présentes sous forme de dômes volcaniques, de filons, de dépôts de nuées ardentes (brèche « arlequin » polylithologique, à trachy-andésite violacée et trachyte blanchâtre, dans une matrice grise ou jaune).



Le trachyte des Chazes

Commentaires de la carte géologique de Murat :

⇨ *Carte synthétique des différentes cartes au 1/50000 (Découpage rectangulaire) :*



Carte géologique simplifiée du Cantal

1 : basaltes supracantaliens ; 2 : dépôts d'avalanches de débris ; 3 : dépôts de coulées de débris ; 4 coulées et pyroclastites trachyandésitiques et trachytiques ; 5 : basaltes infracantaliens ; 6 : sédiments oligo-miocènes ; 7 : socle hercynien.

- Sédiments oligo-miocènes : série complète à l'échelle du département, depuis les sables et argiles du fossé de la Margeride (région de St Flour) jusqu'aux calcaires et marnes du bassin d'Aurillac s.l..

- Basaltes infracantaliens affleurent surtout au NE et au SE (peut-être aussi en blocs dans les coulées et les dépôts d'avalanche de débris) : sûrement fissuraux.

- Strato-cône principalement trachyandésitique avec un diamètre de 15 à 20 km et 3000 m de hauteur. Actuellement, l'Etna a des dimensions comparables (45 x 35 km surface elliptique des formations volcaniques - 35 km environ = diamètre du cône – 3345 m d'altitude) au Cantal d'il y a 8 Ma.

Ce Cantal initial s'est effondré en plusieurs épisodes autour de 7 Ma (voir au dessus) ; les avalanches de débris ont déplacé les matériaux du centre vers la périphérie. Le Cantal d'aujourd'hui ne correspond plus à l'édifice s.s. de l'époque, plus restreint alors.

Pendant et après cette période d'effondrement, le volcanisme continue car en profondeur la production et l'ascension des différents magmas se poursuivent : « cratères » en fer à cheval sont remplis de lahars (qui recouvrent fréquemment les dépôts d'avalanches de débris), de matériaux effondrés (à proximité des parois d'effondrement) et de toutes les formations géologiques issues

de l'activité volcanique post effondrement => disparition ou effacement plus ou moins important de ces grandes dépressions en fer à cheval.

La notion de caldeira s.s n'existe plus pour le volcan du Cantal. Cette structure avait été imaginée dans les années 70 en corrélant l'age de certaines coulées trachy-andésitiques avec leur position (structurale) au sein de l'édifice et en prenant en compte l'existence de plusieurs formations cendro-ponceuses (ignimbrites) : âge plus récent de certaines laves dans la partie centrale et creusée, par rapport à certaines laves situées dans la zone externe (du strato-volcan).
On parle actuellement de zone de départ de grands glissements de terrain avec remplissage postérieur, car pour qu'il se soit formé une véritable caldeira (Cf Monts Dore), il aurait fallu des dépôts d'ignimbrites, cendres et ponces très volumineux. Or dans le Cantal, ces dépôts existent mais sont peu volumineux ; il n'y a donc pas de contrepartie éruptive pour une caldeira dans le Cantal, avec effondrement du toit de la chambre magmatique.

- le Cantal ne semble pas s'être reconstruit de manière importante après ces épisodes de vastes effondrements. La morphologie finale post-effondrement n'est pas comparable à la morphologie du strato-cône anté-effondrement (amphithéâtre en fer à cheval ⇔ signature quand il n'est pas recouvert).

- Les basaltes des planèzes ont fossilisé en grande partie la morphologie post effondrements de ce Cantal.

Nombreuses petites planèzes à l'W comparativement à l'E : ce pourrait être lié à une érosion plus importante en relation avec les conditions météorologiques (notamment pluviométrie) sur ce flanc ou lié à une activité volcanique .

La totalité du Cantal a-t-elle été recouverte par ces coulées (planèzes) ?
La localisation des planèzes et notamment celle des vallées limitantes ne sont pas aléatoires. Points de sortie des coulées des planèzes très souvent situés le long de fissures éruptives (rôle de la tectonique) ; tracé des vallées en partie conditionné par la répartition d'ensembles laviques plus résistants (= ensemble de coulées convergeant vers des dépressions?).
Si ces coulées basaltiques ont occupé les points bas et ont pu s'accumuler (=> épaisses), les rivières ont du ensuite les contourner. Les dépressions associées aux grands glissements ont donc pu être remplies par ces différentes nappes basaltiques puis l'érosion fluviatile les a dégagées latéralement => dépressions anté-planéziennes en partie révélées (?)

Les grands ensembles laviques terminaux pourraient donc partiellement révéler la morphologie générale post effondrements.

- La faille de la Margeride est orientée NW-SE, idem pour un grand nombre de filons et éruptions fissurales ; la tectonique intervient dans la mise en place des magmas pendant toute l'histoire du Cantal.

Ce dernier épisode basaltique a dû réalimenter certaines chambres magmatiques en magma frais. Des magmas plus différenciés ont peut-être été produits par la suite mais ne sont apparemment jamais arrivés en surface (pourquoi ?). Etait-ce le début d'un nouveau cycle; pourquoi le volcanisme s'est arrêté…

Affleurement N° 4 : neck de Chastel sur Murat (D 39)

Trois pitons basanitiques entourent Murat :

- rocher de Bredons surmonté d'une église clunisienne, ancien lac de lave (4,3 Ma) + projections volcaniques ⇔ restes du cône,
- rocher de Bonnevie (Murat) ⇔ ancien lac de lave,
- rocher de Chastel sur Murat, à l'origine ancien lac de lave remplissant le cratère d'explosion d'un maar ; même age que Bredons en toute vraisemblance (car sur fissure éruptive).

Tous sont composés d'une basanite à olivine ; ils ont été alimentés par une même fissure.
Ils ont ensuite été dégagés par l'érosion (notamment glaciaire mais pas seulement), d'où les necks actuellement observables.

Neck de Bonnevie (Murat)
vu depuis le neck de Chastel

Lac de lave de Chastel sur Murat

Colonisation par les végétaux pionniers

N B : abris sous roche => site occupé depuis le Néolithique.

Implantation des hameaux au pied des reliefs, ainsi abrités.

Google Earth

Localisation des trois necks de Murat

Google Earth option relief

Alignement des trois necks de Murat

⇨ Mise en évidence d'une ancienne fissure d'alimentation.

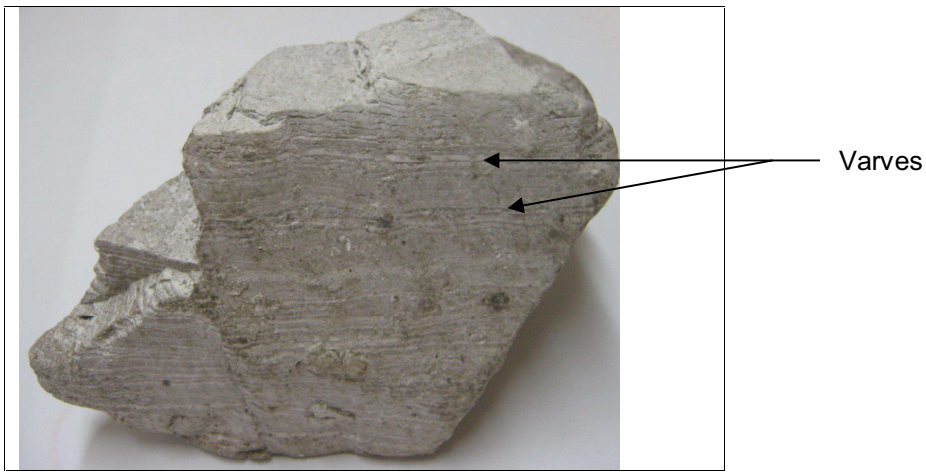
Affleurement N° 5 : carrière d'extraction de diatomite à Foufouilloux (proche Murat, D 39)

Exploitée depuis la fin du 19ème siècle : l'accumulation des restes de diatomées a permis la formation de la roche = diatomite.
Les diatomées sont des algues unicellulaires d'eaux douces ou salées, froides ou chaudes ; la cellule est située à l'intérieur d'un frustule = enveloppe externe en opale ornementée (une dizaine de µm).

A l'échelle de la carrière, partie grise avec strates blanchâtres (minerai) + dépôts à blocs marron au-dessus = moraine qui a protégé les diatomites (roche très friable). L'exploitation a du dégager cette moraine.

Carrière de Foufouilloux

On exploite 15 à 18 m d'épaisseur de diatomite mais arrêt prévu dans quelques années (Narse de Louvialle = site futur ?).
Les diatomites ⇔ superposition de petites lamines ou varves (1/an). La couleur d'une varve évolue au cours de l'année en fonction de la quantité de matière organique qui se mélange avec les frustules de diatomées (pauvre en matières organiques au printemps et au début de l'été, plus riche à la fin de l'été et en automne).
25 000 varves dénombrées par extrapolation ⇔ minimum 25 000 ans de fonctionnement).



Diatomite de Foufouilloux

Contexte volcanique :

Les milieux volcaniques sont favorables à la formation de gisement de diatomites. Dans ce type de milieux les eaux peuvent s'enrichir en silice (par lessivage, altération de niveaux cendreux ou dissolution acide par exemple), et les diatomées peuvent ainsi produire leur frustule siliceux => accumulation de frustules après leur mort dans les lacs.

Exploitation elliptique avec quelques sondages des bords ⇔ brèche volcanique.
Le dépôt a une forme elliptique d'environ 800 m sur 1300 m (grand axe), ce qui ⇔ probablement à une structure de type maar rempli par un lac => diatomées => diatomite.

3 grands gisements en France, liés au volcanisme : Ardèche (St Bauzile, Coiron) et Cantal (La Bade et Auxillac-Foufouilloux).
Le + grand au niveau mondial (celui de Lompoc en Californie) n'est pas associé au volcanisme (diatomées marines planctoniques).

Datation :

On a longtemps utilisé la flore associée (feuilles, pollens …) mais elle a peu évolué donc peu efficace.
Datation absolue : 3 filons de basalte à bordure figée et perturbant les dépôts ont été observés (donc ayant bien traversés le dépôt), l'un d'entre eux a été daté à 5,3 Ma.
= Fonctionnement du lac contemporain de l'activité volcanique du Cantal (flore mio-pliocène).

Fonctionnement du milieu de dépôt :

3 principaux genres de Diatomées existent au niveau du gisement, deux grandes phases de sédimentation ont été reconnues :

1 - Synedra + Melosira	↓	marécage ou lac peu profond
2 - Cyclotella + Melosira		lac profond

L'altération de niveaux cendreux ou volcaniques (s.l.) a peut-être imperméabilisé le fond du maar => un lac se serait mis en place, devenant de plus en plus profond au cours du temps.
Les 20 m de dépôt ne correspondent pas forcément à 20 m de profondeur ; la tourbière finale a peut-être été rabotée ensuite par la moraine.

Paléoclimat :

La grande majorité des restes végétaux témoigne d'un climat tempéré à froid + quelques espèces à affinités thermophiles ou méditerranéennes.

On peut établir un parallèle entre ce climat (d'il y a 6 Ma environ) et le climat actuel de Mandchourie (Nord-Est de la Chine).
Exemples d'espèces présentes : Chêne, Charme, Erable, Bouleau, Tilleul, Noyer, Orme ⇔forêts de feuillus situées à proximité du lac... Pin, Avocat,….
Bambou, Roseau, Aulne sur les rivages du lac et le long de cours d'eaux : mais les végétaux peuvent être situés +/- loin du lac (car apports par le vent, les éruptions …).
Les Gymnospermes, genre Abies (sapin), genre Picea (Epicea),… occupaient les régions globalement plus humides et froides des reliefs alentour (⇔ zone centrale du strato-volcan de l'époque, à plus haute altitude).

Rares fossiles de Vertébrés (quelques poissons auraient été trouvés) ; quelques Arthropodes (Araignées, Insectes).

Utilisations de la diatomite :

Les caractéristiques et utilisation du minerai sont différentes selon la nature des diatomées.

- Utilisation des *diatomées* pour déterminer la qualité optique, la résolution des objectifs.
- Adjuvant de filtration car frustules très poreux (on filtre les vins, les bières, les jus de fruits…) : mise en suspension de l'ensemble diatomite + liquide à filtrer, sous l'effet d'une dépression appliquée en dessous d'une maille, un « gâteau » de filtration se forme progressivement à travers duquel se produit la filtration.
- Engrais avec billes de diatomite imprégnées de N, P, et K.
- Amidon filtré.
- Lignes blanches des routes.
- Produit rouge utilisé par les pompiers car diatomite très absorbante.
- Charges de dynamite (autrefois)
- Charges fines pour peintures et matières plastiques
- Filtration des huiles (de coupe ou alimentaire).
- Dentifrice, rouge à lèvres.
- …
-

Il n'existe pas vraiment de matériau équivalent.

Pour les utiliser, on sèche les diatomites puis on les calcine afin de retirer le maximum de matière organique (environ 10% dans le minerai).

Ressources limitées :

D'autant plus que les gisements sont souvent associés à un environnement de tourbières ⇔ zones protégées.
Etudes d'impact préalables pour voir comment la carrière évoluera jusqu' à la fin de l'exploitation.
Celle de Foufouilloux fait partie du patrimoine géologique du Cantal (arrêtée dans 4-5 ans car fin de l'exploitation programmée (plus assez de minerai).

CONCLUSION

Le Cantal d'aujourd'hui est la résultante de plusieurs phénomènes impliquant des évènements majeurs comme les gigantesques glissements de terrain => volcan surbaissé (peu élevé mais large) puis traces laissées par les glaciations successives (cependant impact plus limité que ce que l'on pensait auparavant), suivies par de petits effondrements et glissements gravitaires (Chaos de Casteltinet, effondrement vers la Courbatière,…) ; aujourd'hui, érosion fluviatile, ravinement, etc…

Le volcan évolue par le jeu de ces effondrements de flancs de vallées (Casteltinet ou Carlat récemment en 2007).

Exploitation de ses ressources géologiques :

- Carrière réouverte aux Cunes (Albepierre-Bredons) par un tailleur de pierres de St Jacques des Blats ; coulée de trachy-andésite ⇔ pierre de taille du vieux Murat.
- Le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne essaie de remettre en fonctionnement la filière « pierre volcanique » dans le cadre d'un pôle d'excellence rurale (PER). Parmi les structures associées : école d'architecture de Volvic + carrière des Cunes + carrières de trachyte du Puy d'Augoules (près de Menet, NW Cantal), carrière de Bouzentes (planèze de St Flour).

⇨ Débouchés pour ces roches volcaniques du Cantal ou du Puy de Dôme : pierre de taille (trachy-andésite et trachyte surtout, brèches volcaniques), granulats, ou minerai (qui par définition doit être économiquement viable (diatomite, (Salins, Massiac ?) + autres utilisations à imaginer et à développer,...

Puy Griou : centre géographique du strato-cône d'il y a 8Ma