

Extrait du Géologie et géo-tourisme

<http://jfmoyen.free.fr>

Mise en place des granites

- Textes et documents pédagogiques - Fragments -

Date de mise en ligne : mardi 12 septembre 2006

Description :

Et comment les pluton granitiques se forment, hein ?

Géologie et géo-tourisme

Texte écrit pour fsg, Février 2006

> Il me reste que j'ai beaucoup de mal à me figurer le mécanisme de > montée d'un pluton granitique, malgré tous les schémas présents dans > les livres. (...)

Tu soulèves là un assez gros lièvre, en fait un des problèmes majeurs de la géologie des granites. Et un problème que ... au risque d'être présomptueux, qu'on commence à comprendre depuis une vingtaine d'années (une étape majeure, c'est la "Hutton conference" de 1996 au Maryland, où le paradigme actuel a à peu près été dessiné). Pas étonnant donc que ces notions ne soient pas encore sorties de la communauté au sens le plus restreint !

Le paradigme actuel sépare plusieurs étapes lors de la formation des granites (pour simplifier, je considère des granites formés au sein de la CC, sans apports mantelliques. C'est pas tout à fait vrai, mais conceptuellement ça permet de comprendre et c'est pas entièrement faux non plus) :

- ▶ formation des magmas (fusion partielle) ;
- ▶ extraction des magmas (qui restent, sinon, piégés dans leur source — les anatexites, justement !)
- ▶ transfert vers la surface
- ▶ mise en place, sous forme de plutons

La fusion se déroule typiquement dans la croûte profonde (il faut 850 °C, ce qui est très dur à moins de 15-20 km, même en trichant avec les gradients). On peut donc trouver des intrusions de granite à tous niveaux, depuis les sites de formation jusqu'à presque la surface (pas en surface à proprement parler ... sinon c'est un volcan !). Si on est dans la croûte inférieure, il peut s'agir de liquides magmatiques qui n'ont pas, ou très peu, bougé depuis leur formation. On l'observe typiquement dans le massif du Velay, où on voit, en continuité, des roches pas ou peu fondues ; des roches fondues ("anatexites" ou "migmatites") ; des granites riches en matériel solide mal isolé ; des granites "propres". Ces granites sont donc des liquides qui ont gelé sur place ou quasiment sur place, peu après la fusion. Ce genre de choses était décrit (est encore ...) comme des "massifs granitiques à bord diffus".

Si on veut faire des petits plutons dans la croûte supérieure, comme celui auquel tu fais allusion (c'est Flamanville — et c'est l'archétype, du moins en France, du pluton de domaine superficiel), c'est à dire mis en place à 3-10 km de profondeur, disons, il est nécessaire d'extraire les liquides de leur source ; de les transporter vers la surface ; de les mettre en place dans un "volume" superficiel.

L'extraction des liquides

Il y a deux processus évoqués pour extraire les liquides de roches partiellement fondues :

- ▶ la gravité, les liquides étant plus légers que les roches solides environnantes vont remonter tout naturellement (si leur viscosité le permet, si il y a une "porosité" interconnectée, etc.), et le reste va rester au fond.
- ▶ des surpressions, liées à la déformation en particulier. En gros c'est le principe de l'éponge : on presse, et le liquide sort. Il y a de superbes exemples de terrain de ça, où on voit par exemple des plis dans des migmatites avec le liquide concentré dans le coeur du pli. (cf. papiers de Brown, Sawyer...)

On arrive donc, à ce stade, à des petites poches de liquides métriques ou décamétriques, qui vont sans doute se regrouper progressivement.

Le transfert vers la surface

Il a forcément eu lieu, pour les granites de faible profondeur... Physiquement, c'est sans doute la densité des magmas qui joue le rôle moteur principal ; suivi par, peut être, des surpressions tectoniques (liées à la déformation), mais là on se tape dessus pour savoir si ça peut avoir un effet suffisant ou si c'est négligeable.

L'autre gros débat, c'est le mode de transport au travers de la croûte. On commence à arriver à se mettre d'accord, mais ça a été un gros sujet d'engueulade dans les années 90 (papiers de Clemens, Hutton, Mawer...) :

- ▶ Historiquement, le premier modèle proposé été celui du "diapirisme" : la "bulle" de magma, plus légère, remonte en masse vers la surface, un peu comme un ballon d'air chaud, ou comme ces bulles de liquide chaud qui remontent dans les lampes fantaisie. C'est de là que vient le fameux dessin des plutons granitiques comme des petites bulles avec une queue, qui traîne partout.

Le diapirisme est un processus qui est possible, mais à condition que les matériaux soient assez ductiles. Dans la croûte inférieure, il peut arriver ; mais dans la croûte supérieure, les roches sont trop rigides pour qu'il soit possible (c'est l'argument d'un fameux papier de, je crois, Clemens et Petford, en 92).

/* Noter aussi que le diapirisme peut affecter toute sortes de roches, pas seulement des granites. Les migmatites, en masse, peuvent former elles aussi des dômes diapiriques (cf. Vanderhaeghe, Teyssier & années 2000 ; Brun, Van den Driesche - années 80). Des roches solides de la croûte inférieure forment aussi de telles dômes, sans fusion (ou avec très peu), à condition que la croûte soit très chaude, comme c'était peut être le cas à l'Archéen (Choukroune, Chardon, Bouhallier & années 90 ; van Kranendonk & années 90-2000, pour ne citer que la "résurgence" moderne de ces concepts, proposés dès les années 50), ou dans certaines chaînes de montagnes (Mahéo & Guillot, Himalaya, 2002). On connaît des diapirs de sel dans toutes les chaînes de montagne (le Jura, sans chercher très loin). Et dans le manteau, il y a sans doute des diapirs de péridotite solide. */

- ▶ Dans les années 80-90, le nouveau modèle proposé est celui du "dyking" : les magmas, plutôt que de former des grosses boules, montent vers la surface dans des petits filons ("dykes"), qui utilisent des fractures cassantes. Ces dykes servent de zone d'alimentation aux plutons superficiels proprement dit, qui se mettent en place non pas comme un diapir, en masse ; mais plutôt comme un ballon qu'on gonfle peu à peu (on a parlé de "ballooning" à l'époque, le terme est un peu passé de mode) (Clemens, Petford, Mawer, etc. & années 90).

Un autre argument fort, ça a été l'observation sous les plutons de zones de "racine", de "cheminées d'alimentation", bien décrites par la gravi par exemple (Vignerresse, années 80-90), et suggérant qu'il y avait un "tuyau" pour remplir le pluton par en dessous...

- ▶ Vers le même moment, on a proposé des variantes du dyking, basé sur la circulation et l'injection des magmas non pas tant dans des fractures cassantes, ouvertes (peu probable dans la croûte inf du reste !), mais plutôt le long de failles ("shear zones") (Hutton, 1992 ; Moyen, 2000).
- ▶ A l'heure actuelle, on penche plus pour des combinaisons de tout ces processus. Le diapirisme est possible dans la croûte inf, mais affecte sans doute plutôt en masse des terrains composites migmatites-granites, avec les liquides mal séparés. Les circulations sur shear zones, voire les dykes, prennent sans doute le relais dans les zones plus supérieures.

Un problème, c'est que sauf exception on ne voit pas à l'affleurement ce genre de zones de transfert. Peut être

parce que, justement, le magma n'a fait "que passer", et qu'il n'y a plus rien à voir ? (Sawyer).

La mise en place des plutons

.. cad des plutons superficiels, puisqu'on a à peu près traité le cas des intrusions profondes...

Dans la croûte sup, on exclut à peu près le diapirisme à l'heure actuelle. C'est là que se pose avec acuité le problème de place : comment faire assez d'espace pour mettre la matière granitique ? En fait, ce problème se pose un peu en profondeur aussi... mais moins : pour les dykes, bon, ce sont des petites fractures, ce n'est pas très grave en terme de volume ; pour les diapirs c'est plus gênant mais on a un joker, la plupart des diapirs se mettent en place en contexte au moins localement extensif, ce qui permet de faire toute la place qu'on veut.

Mais pour les intrusions de haut niveau ? La encore, schématiquement on peut imaginer trois choses :

- ▶ On ne fait pas de place et on "assimile" ou on "digère" sur place les roches encaissantes. Mais ça ne crée pas vraiment de place...
- ▶ On fait de la place "par le haut", en créant un bombement en surface : c'est ce qui se passe dans les intrusions sous les volcans, par exemple, qu'on voit gonfler au fur et à mesure que l'éruption approche ! C'est peut être la façon dont se forme les "laccolithes", des injections plates qui s'insèrent entre deux couches. C'est dur à dire, parce que si on voit le laccolithe, justement, tout ce qui était au dessus est parti (érosion) : pas moyen, donc, de savoir si ça a remonté ou pas. En fait, si le laccolithe est assez profond, on peut surement distribuer la déformation assez loin, en faisant un peu de compression par ci, un peu de bombement par là... et ça pourrait être assez discret. (Cruden, 90-2000)
- ▶ On fait de la place "sur les cotés". On retombe sur les histoires de tectonique. Les failles, souvent, permettent de créer de l'espace, que ce soit en écartant un peu leur lèvres (failles un peu extensives), ou grâce à des petites irrégularités qui créent des structures dites en "pull-apart"

J'essaye un dessin : si la faille ci-dessous est dextre, la petite irrégularité va s'agrandir pour former un "trou" ...

\ \ \-----

.. comme ça :

\---\ \ \---\-----

Dans ce trou (losangique), on peut donc mettre en place un granite ! (cf. Benn, 95-2000)

En fait, ça impose donc des contextes avec au moins localement un peu d'extension. Mais ce n'est pas un problème ; quand on regarde un tout petit peu, il y a de l'extension partout, même dans les zones de convergence les plus convergentes Les Alpes sont pleines de failles normales par exemple.

On a plein de jolis exemples de plutons qui se sont mis en place de façon syn-tectonique, dans ou à proximité d'une

Mise en place des granites

faille. Par exemple ceux de Bretagne Sud (Gapais, années 80) ou des Pyrénées (Bouchez et cie, années 80-90), ou encore de Sierra Nevada (Tikoff et St Blanquat, années 90-présent). En refroidissant, les plutons enregistrent la déformation liée à la faille, et on voit très bien le lien faille/granite.

/* C'est dans ce contexte que se place le "métamorphisme de contact" : le granite, chaud, se mettant en place dans la croûte sup plus froide, peut la "cuire", comme de l'argile est cuit en brique dans un four de potier. Il se forme une petite auréole métamorphique, de 500-1000 m typiquement, autour du pluton. Enfin, si les roches s'y prêtent. */

Post-scriptum :Maintenant que vous avez eu un aperçu du modèle " de base", vous pouvez aller lire [l'article suivant](#), qui présente des idées contemporains et des pistes de réflexion. En plus, c'est mieux illustré...