

Extrait du Géologie et géo-tourisme

<http://jfmoyen.free.fr>

# Géochronologie

- Textes et documents pédagogiques - Fragments -

Date de mise en ligne : vendredi 25 ao2006

## **Description :**

Comment dater les roches par la méthode U-Pb, et surtout, quelle est la signification d'un âge géologique ?

---

**Géologie et géo-tourisme**

---

Ecrit pour fsg en Novembre 2004

## La méthode U-Pb

En fait, il y a plein de, disons, "sous-méthodes" qui tournent autour du couple U-Pb, ou plutôt des couples U-Pb.

Si je ne dis pas trop de conneries, il y a au moins deux couples principaux,  $^{235}\text{U}$  qui se désintègre en  $^{207}\text{Pb}$  (via de nombreux intermédiaires) ; et  $^{238}\text{U}$  ->  $^{206}\text{Pb}$ . Il y a aussi du  $^{204}\text{Pb}$ , stable.

Tu peux donc faire de la géochronologie U-Pb avec n'importe lequel des deux couples ( $^{235}\text{U}$  ou  $^{238}\text{U}$ ) ; ou tu peux coupler les deux (qui ne se décomposent pas à la même vitesse) pour faire des chronomètres avec les rapports  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ; ou d'autres combinaisons que je n'ai plus en tête. Une des façons de faire la plus classique, c'est, disons, de "comparer" les âges  $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$  et  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ , et de voir dans quelle mesure ils coïncident (âges "concordants") ou pas (âges "discordants"). On sait assez bien interpréter les âges discordants en terme d'histoire complexe, avec plusieurs évènements successifs enregistrés dans l'échantillon.

## Précision et signification d'un âge

En terme de précision "brute de spectro", c'est très bon. On mesure les rapports isotopiques de l'U et du Pb à la troisième décimale, ce qui donne des imprécisions sur les âges de l'ordre de moins de 1 % (du moins dans les périodes qui m'intéressent) : vers 2500 Ma, on a des âges avec des précisions typiquement de + ou - 3 à 10 Ma.

Après, il faut voir si l'âge est concordant ou discordant, ce genre de problèmes, qui font que même si la précision analytique est excellente, l'exactitude de l'âge (ou son interprétation) peut être moins bonne. Si les âges  $^{235}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$  sont très discordants, par exemple (cad que les deux couples isotopiques ne donnent pas le même âge !), la mesure a beau être à moins de 1 %, il y a une dimension d'interprétation qui fait que l'âge (ou, dans ce cas, LES âges des différents épisodes) sont moins bien contraints.

Enfin se pose la question de la signification d'un âge. En réalité, ce que date un chronomètre, c'est le temps écoulé depuis qu'il a évolué "en vase clos", sans échange avec l'extérieur. Selon ce qu'on date, ça peut être assez différent :

- si on date des roches totales (ce qui se fait de moins en moins en U-Pb), on obtient une valeur potentiellement affectée par les circulations de fluides plus tardive ou les transformations minéralogiques après la formation de la roche. Ça peut être très dur à interpréter.
- on date donc des minéraux isolés, en général. Les plus fréquents, ce sont le zircon ( $\text{ZrSiO}_4$ ) et le sphène ( $\text{CaTiSiO}_4(\text{OH})$ ) ; maintenant aussi la monazite ( $(\text{REE,Th})\text{PO}_4$ ). Tous contiennent des traces d'U et de Pb ; et même de fortes traces, suffisantes pour des datations précises.
- Le zircon est un minéral qui cristallise à haute température (env. 850 °C) et que plus rien n'affecte après, ou à peu près. C'est donc un très bon minéral pour dater les roches magmatiques (il datera la cristallisation du magma). Problème : comme il est virtuellement indestructible, il peut arriver que des cristaux de zircon anciens ("hérités", en jargon de géochronologiste) passent dans un magma plus récent

et y survivent. Donc, si on date toute une population de zircons d'une roche magmatique, on a de bonnes "chances" de trouver un âge qui en fait est un mélange entre des zircons hérités et des zircons néoformés. On sait maintenant faire des datations in-situ, c'est à dire dater non seulement un grain, mais une partie d'un grain (avec une zone analysée de l'ordre de qq dizaines de micromètres). Ça permet de faire des "cartes" des âges du zircon, et de reconstituer son histoire : qu'est-ce qui est hérité, qu'est ce qui est nouveau. Et ce avec la précision < 1 % que je mentionnais, mais évidemment avec une dose d'interprétation non négligeable.

- Le sphène cristallise aussi à haute température, mais il est moins solide et peut continuer à échanger U et Pb avec son environnement jusque vers 600-700 °C. Il date donc, en théorie, le moment où la roche est passée à une température < 600 °C pour la dernière fois. Dans une roche magmatique, ça va donc dater, selon les cas, soit (1) le moment, lors du refroidissement de la roche, ou celle-ci est passée sous cette température ; (2) le moment où la roche a été réchauffée, si qq chose de ce genre a eu lieu. L'interprétation est d'autant plus délicate, que le "rééquilibrage" est rarement complet, c'est à dire qu'on obtient des mélanges entre du "vieux" Pb et du Pb plus récent, donc des âges très discordants, bref c'est pas très simple à interpréter. On a beau avoir le même genre de précisions de mesure, ça donne des âges moins fins.
- La monazite est un minéral du métamorphisme. Sa cristallisation date donc, en principe, l'âge du métamorphisme. En fait c'est assez délicat et ça demande pas mal de doigté (notamment parce qu'il faut faire une très bonne étude de la roche avant pour essayer de voir dans quel contexte pétro ce minéral s'est formé). Et ça donne des âges &mdash; métamorphiques bien sûr&mdash; ; plutôt moins précis (1-10 % d'incertitude, typiquement).

Parler de "précision" est donc un peu court ; il faut distinguer la précision analytique et, disons, la conclusion géologique.

J'ai par exemple sous les yeux un article dans lequel un échantillon a donné des zircons qui, datés in-situ, ont permis de mettre en évidence : (1) une population principale définissant un âge de 2547 +/- 19 Ma (pas très bon, on a souvent plus précis) ; (2) quelques zircons hérités à 3070 +/- 20 Ma (sans doute l'âge de la roche qui a fondu pour donner ce granite, et là où la vie est belle, c'est qu'on connaît des roches de cet âge là dans la région) ; (3) des traces de perturbations (réchauffement ?) vers 600 Ma (un âge où il s'est passé plein de choses, régionalement).

Ce qui est marrant, c'est que le même granite, daté il y a qq années en regardant la population complète de zircons (donc avec des méthodes d'il y a 15 ans, pas in-situ) donnait un âge de 2631 +/- 6, qui correspond sans doute au "mélange" entre les deux groupes (2547 et 3070). Pour finir, des sphènes dans le massif d'à côté donnent des âges de 2420 +/- 2, qui correspondent au refroidissement en dessous de 600-700 °C.

On voit bien que se pose la question de la signification géologique des âges : l'âge à 2631 est certes le plus précis de tous ceux que je cite ici, mais il semble ne correspondre à aucun événement géologique ! L'âge à 2547 est sans doute la cristallisation du granite... mais si il est resté jusque vers 2420 au dessus de 600 °C, il pouvait donc rester quelques liquides dans le système.

## En résumé

On arrive donc à dater :

- des roches magmatiques
  - avec une précision  $< 1\%$  grâce aux méthodes in-situ ;
  - c'était moins bon avec les méthodes sur population complète d'il y a seulement 5-10 ans, on était plutôt à 1-2 % ;
  - avec en rab des infos supplémentaires sur les population "héritées" (donc l'âge des roches qui étaient la avant), ou les perturbations tardives du système.
- des roches métamorphiques
  - avec une précision moins bonne, de l'ordre de quelques %
- pas de roches sédimentaires : les processus qui s'y déroulent sont à trop basse température ! Tout ce qu'on peut y faire c'est regarder l'âge des zircons qu'on y trouve et dire que la roche est plus récente...

Enfin, même si les précisions analytiques sont excellentes, il ne faut pas perdre de vue qu'il y a une dose d'interprétation. Et qu'on commence à avoir des précisions telles qu'un phénomène comme un épisode métamorphique ou la mise en place d'un granite n'apparaissent plus comme instantanés.

(1) Chardon et al. 2002, Tectonics 21-3 (2) Krogstad et al. 1991, J.Geol 99:801-816