

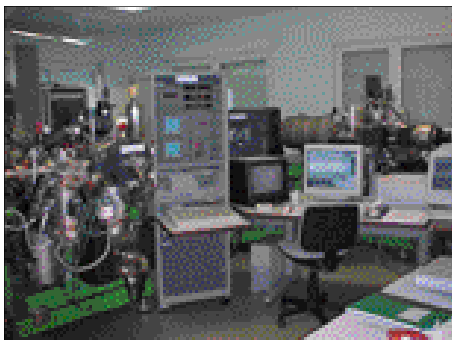
ANALYSES CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES DES ROCHES PAR MICROSONDE IONIQUE

Caractérisation in situ à l'échelle du micromètre

Depuis le milieu des années 1980, les chercheurs du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (CRPG, CNRS) de Nancy ont développé leur savoir-faire analytique grâce à une microsonde - Cameca IMS3f - utilisée notamment pour l'analyse isotopique d'éléments légers. Depuis 1997, ils sont responsables d'une sonde de nouvelle génération - Cameca IMS 1270 - acquise par le département des sciences de l'Université (CNRS). Les principaux développements en cours sont les datations *in situ* (U-Th-Pb, Rb-Sr)* et la mesure des compositions isotopiques d'éléments légers (Li, B, C, N, O, Mg, Si...)* appliquée aux problèmes d'environnement ou de paléoenvironnement, et à la cosmochimie.

La microsonde ionique est un spectromètre de masse dans lequel sont analysés les ions secondaires émis par un échantillon soumis au bombardement d'un faisceau d'ions primaires. Cette technique réalise ainsi des analyses *in situ* sur des échantillons solides avec une résolution spatiale à l'échelle micrométrique - le diamètre du faisceau d'ions primaires s'ajuste de 0,2 à une centaine de microns -, et une résolution en profondeur de quelques dizaines de nanomètres - la vitesse d'érosion des échantillon se mesure en microns par heure.

La pulvérisation des différents constituants de l'échantillon permet d'analyser sa composition chimique et isotopique sans préparation chimique. Les échantillons de grosses tailles sont préparés en sections polies ou en lames minces pétrographiques, les micro-grains, (aérosols, poussières interplanétaires,...) sont directement déposés sur un support métallique. Cette possibilité d'analyses *in situ* à haute résolution a été mise à profit pour développer ces trente dernières années de nombreuses applications industrielles, notamment dans le domaine de la microélectronique pour contrôler la fabrication des composants, dans les sciences de la vie et la médecine ou les sciences de la terre.



La microsonde ionique Cameca IMS 1270 du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (CRPG) de Nancy a été le premier instrument de ce type équipé d'un système de mesure en multicollection. On voit à gauche le sas d'introduction des échantillons et la chambre objet où les échantillons sont maintenus sous ultra-vide. Le système de mesure est situé à l'autre extrémité, à droite sur la photo. Le faisceau d'ions secondaires est focalisé en énergie et en masse grâce au couplage de deux secteurs électrostatique et magnétique (en haut à gauche et en haut à droite). Six instruments de ce type existent dans le monde à l'heure actuelle. © CRPG-CNRS. Photo : E. Deloule.

En sciences de la terre, cette technique s'est développée pour étudier des échantillons complexes avec une haute résolution spatiale, que ce soit pour déterminer les teneurs des minéraux en éléments traces, en concentration trop faible pour être mesurée par microsonde électronique, ou des compositions isotopiques de nombreux éléments, tels que* H, Li, B, C, N, O, S,... Pb. Parallèlement à ces développements analytiques, des microsondes ioniques dédiées aux sciences de la terre, avec des secteurs de grands rayons ont été mises au point (SHRIMP, CAMECA IMS 1270, VG Isolab 120), pour obtenir une grande sensibilité à très haute résolution de masse (M/M jusqu'à 20 000). Quelques résultats emblématiques de cette méthode sont :

- la datation *in situ* des zircons qui a permis de découvrir les plus vieux minéraux terrestres, âgés de plus que 4 milliards d'années ;

*Glossaire :

- B : bore ;
- Be : beryllium ;
- C : carbone ;
- Ca : calcium ;
- Cr : chrome ;
- Fe : fer ;
- H : hydrogène ;
- Li : lithium ;
- Mg : magnésium ;
- N : azote ;
- O : oxygène ;
- Pb : plomb ;
- Rb : rubidium ;
- S : soufre ;
- Si : silicium ;
- Sr : strontium ;
- Th : thorium ;
- Ti : titane ;
- U : uranium.

- la mise en évidence d'hétérogénéités isotopiques intra-cristallines (H, O, S, Pb)* sur différents types de minéraux qui apportent des informations sur l'histoire de leur formation et de leur évolution ;

- l'étude des inclusions vitreuses ou cristallines dans les minéraux issus des profondeurs de la terre qui donne la composition de ces phases telle qu'elle était en profondeur.

Pour l'étude du système solaire, la description des anomalies isotopiques (C, N, O, Ca, Ti, Cr, Fe,...)* des inclusions réfractaires renseigne sur le fonctionnement de la nucléosynthèse dans les différents types d'étoiles. La mesure de la composition isotopique (Li, Be, B)* du vent solaire implanté dans les grains du sol lunaire permet de mieux connaître le fonctionnement du soleil. La mesure de la composition isotopique de l'hydrogène des météorites met en évidence l'apport d'eau interstellaire dans la nébuleuse proto-solaire.

Pour en savoir plus :

- Deloule E., Albarede F., Sheppard S. M. F. (1991), Hydrogen isotope heterogeneities in the mantle from ion probe analysis of amphiboles from ultramafic rocks. *Earth and planet. Sci. Lett.*, 105, 543-553.

- Chaussidon M., Albarede F. and Sheppard S. M. F. (1989), Sulfur isotope variations in the mantle from ion microprobe analyses of micro-sulfide inclusions. *Earth and planet. Sci. Lett.*, 92, 144-156.

- Deloule E, Robert F. and Doukhan J. C. (1998), Interstellar hydroxyl in meteoritic chondrules: implications for the origin of water in the inner solar system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 3367-3378.

- McKeegan K. D., Chaussidon M. & Robert F., (2000) Incorporation of short-lived ^{10}Be in a calcium-aluminium-rich inclusion from the Allende meteorite. *Science*, août 2000.

Contact chercheur :
Etienne DELOULE,
Centre de recherches
pétrographiques
et géochimiques (CRPG),
CNRS,
mél : deloule@
crpg.cnrs-nancy.fr

Contact CAMECA :
Jean-Jacques LE GOUX,
télécopie : 01 43 34 63 50
mél : legoux@cameca.fr

Contact département
des Sciences de l'Univers
du CNRS/INSU :
Christiane GRAPPIN,
tél. : 01 44 96 43 37
mél : christiane.grappin@
cnrs-dir.fr