Analyse à la microsonde nucléaire d'échantillons issus de la mission Stardust

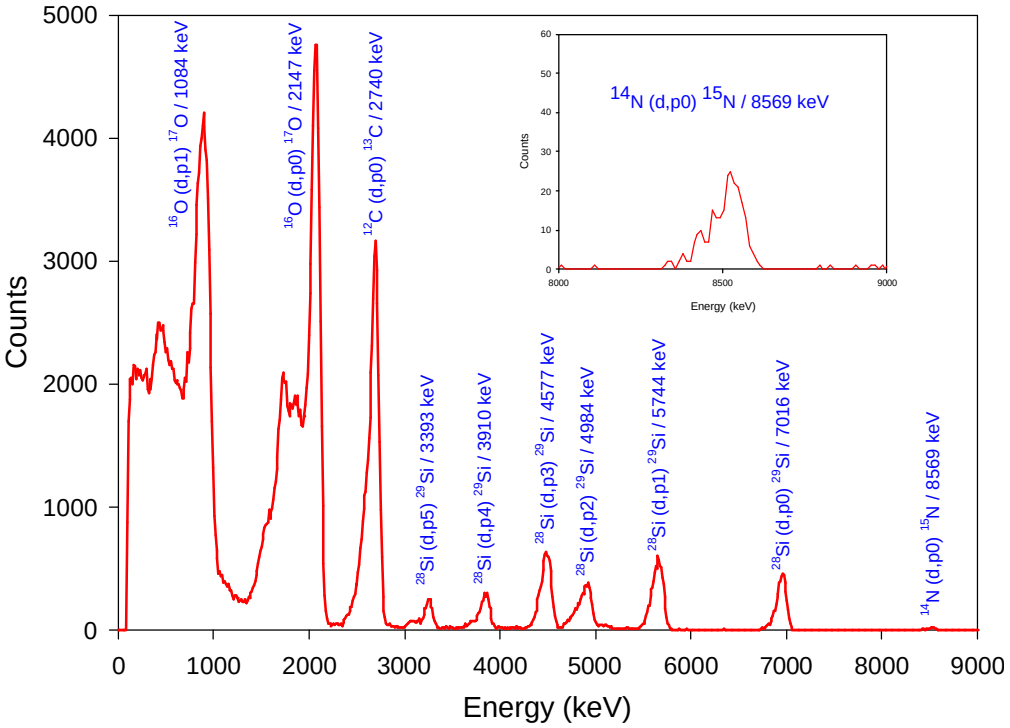
J.P Gallien, H. Khodja, Laboratoire Pierre Süe
G. Herzog, Rutgers University, New Brunswick, NJ USA

La mission Stardust, achevée avec succès le 15 janvier 2006 après un périple de sept années dans l'espace, a rapporté sur Terre les premiers échantillons de matière prélevés dans la chevelure de la comète Wild-2. Cette comète s'est formée dans la ceinture de Kuiper il y a 4.5 milliards d'années. Son orbite éloignée du Soleil a contribué à limiter son altération pendant son périple et par conséquent sa composition devrait être inchangée depuis sa naissance. Les échantillons pourraient ainsi apporter de précieuses indications quant aux conditions de formation des comètes. L'une des questions auxquelles les laboratoires devront tenter de répondre concerne la composition précise en éléments légers tels que le carbone et l'azote. Les enjeux sont d'importance, en astrophysique du système solaire où l'on cherche à connaître les conditions redox qui prévalaient lors de la formation des premiers matériaux solides, ainsi qu'en exobiologie, pour l'estimation de l'apport extraterrestre de molécules organiques.

La nature physique des échantillons collectés (des grains de dimensions micrométriques) et le type d'analyse souhaité (le dosage des éléments légers) ont conduit le Laboratoire Pierre Süe à s'associer au "Preliminary Examination Team (PET)" : groupement de laboratoires ayant la charge de procéder aux premières investigations sur les échantillons dès leur collecte au retour de la sonde .

Les techniques d'analyses par faisceaux d'ions développées sur la microsonde nucléaire du LPS permettent en effet de procéder au dosage local d'éléments légers tels que ceux recherchés avec une sensibilité adéquate et une taille de sonde permettant de s'affranchir des problèmes d'inhomogénéité et de géométrie inhérents à ce type d'échantillons. De fait, le LPS a déjà été amené à travailler sur des échantillons d'origine extraterrestre, qu'il s'agisse de fragments de météorites ou de micrométéorites [1].

Des expériences préliminaires ont été réalisées à la microsonde fin 2005 sur des

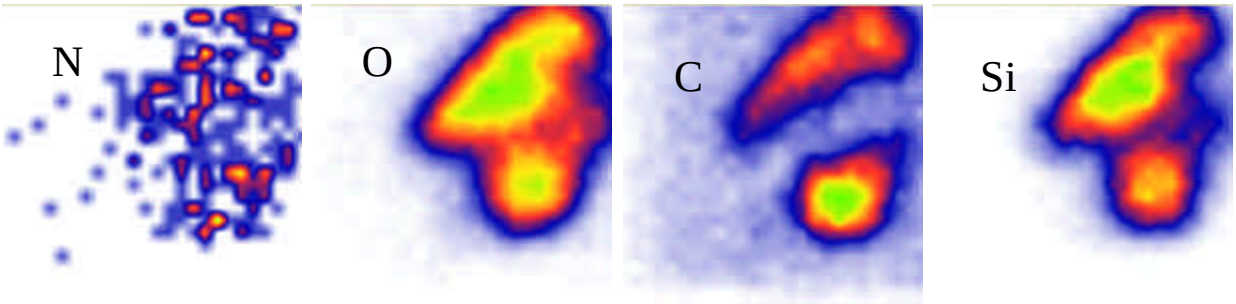


Spectre de réactions nucléaires typique obtenu sur les échantillons de la mission

échantillons de nature et forme similaires à celles attendues des particules de Stardust. Elles ont permis de définir les conditions optimales de réalisation de l'expérience et

dimensionner au mieux les temps d'analyse requis [2]. Les outils de quantification des éléments dosés ont aussi été optimisés à cette occasion.

Au mois de mai 2006, nous avons procédé aux premières mesures sur 3 échantillons de la mission. Ces objets, dont la plus grande structure homogène n'excède pas les 5 µm, ont été extraits de l'aérogel dans lequel ils ont été piégés lors de la rencontre de la sonde avec le sillage de la comète. L'aérogel est un silicate extrêmement peu dense ($d \approx 2$ mg/cm^3) dans lequel les particules sont ralenties progressivement afin de limiter les risques de désintégration et/ou de ségrégation élémentaire. La technique utilisée (analyse par réaction nucléaire : NRA) s'appuie sur la spectrométrie des produits de réactions induites par un microfaisceau de deutérons. Ces mesures ont duré une centaine d'heures, sans difficulté expérimentale particulière en termes de stabilité en



Cartographie en réactions nucléaires des teneurs en éléments légers des grains. Taille des images : 20x20 µm^2

taille de faisceau ou en courant.

Les échantillons analysés, déposés sur une feuille mince d'Indium (substrat "transparent" vis à vis de la technique mise en œuvre), ont révélé la présence de carbone et d'azote à des teneurs quantifiables avec une bonne précision (Fig.1). Les analyses classent ces échantillons dans la famille des silicates.

L'ensemble des résultats d'analyse (répartition élémentaire et isotopique, spectroscopies…) ont été synthètisés par le PET avant de mettre l'ensemble des échantillons recueillis dans l'aérogel à la disposition de la communauté internationale. Les résultats font l'objet de plusieurs publications dans la revue Science [3,4].

Références :

[1] M.-E. Varela M. Bonnin-Mosbah, G. Kurat, and J.-P. Gallien
Nitrogen micro-analysis of glass inclusions in chondritic olivines by nuclear reaction.
Geochim. Cosmochim. Acta **67**, (2003) 1255-1265.

[2] G.F. Herzog, J.-P. Gallien, H. Khodja, G.-J. Flynn, and S. Taylor
Preparation for cometary sample return: nuclear microprobe analysis of C and N in NaOCN, KOCN, $K_3Fe(CN)_6$, Tagish Lake, Murchison, and two cosmic spherules.
37th Annual Lunar and Planetary Science Conference (League City, Texas)
Lunar Planet. Sci., **37** (2006) sous presse.

[3] Comet 81P/Wild 2 Under a Microscope, Science (2006) 1711,

[4] Elemental Compositions of Comet 81P/Wild 2 Samples Collected by Stardust, Science (2006) 1731.

A noter : une recherche en ligne des micro-échantillons emprisonnés dans le gel, par analyse visuelle d'images, est proposée au grand public : c'est le projet stardust@home..