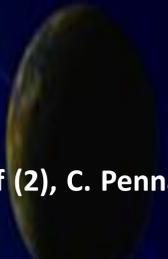


# Développement d'un spectromètre de masse Orbitrap pour l'instrumentation spatiale embarquée



K. Aradj (1), O.Chapelon (\*), L. Thirkell (1), A. Boukrara (1), C. Briois (1), J.P. Lebreton (1), F. Colin (1), H. Cottin (2), N. Grand (2), P. Zapf (2), C. Pennanech (2), C. Szopa (3), N. Carrasco (3), A. Bouabdellah (3), V. Vuitton (4), R. Thissen (4), C. Engrand (5) and A. Makarov (6)

(1) LPC2E, UMR-CNRS 7328, Université d'Orléans, 45071 Orléans cedex2, France, (2) LISA, UMR-CNRS 7583, Universités Paris 12- Paris 7, 94010 Créteil cedex, France, (3) LATMOS, UMR-CNRS 8190, UPMC, UVSQ, 78280 Guyancourt, France (4) IPAG,UJF, 38000 Grenoble, France, (5) CSNSM, Univ. Paris Sud/CNRS, 91405 Orsay, France, (6) Thermo Fisher Scientific, Hanna-Kunath Str 11, 28199 Bremen, Germany, (\*) ESEP

**Le Consortium Orbitrap Français (COF)** (LPC2E : coordinateur, IPAG, LISA, LATMOS, CSNSM) développe un instrument de nouvelle génération afin d'améliorer la précision des mesures en résolution en masse réalisable avec un spectromètre de masse en analyse *in situ*. L'objectif est d'atteindre un niveau de développement TRL 5 (Technology Readness Level) à la fin de l'année 2014 pour les éléments coeur de l'instrument.

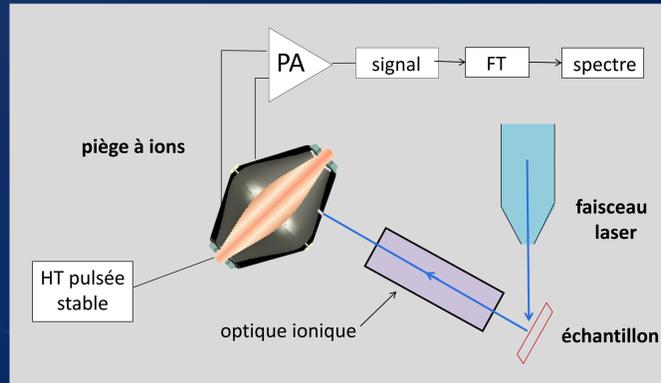
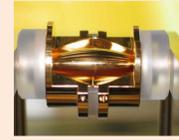


Schéma de principe du prototype basé sur un Orbitrap étudié par le COF

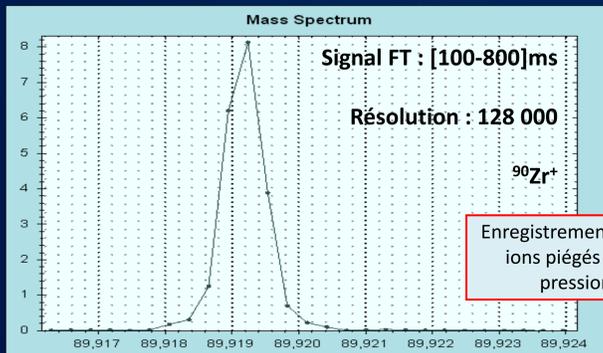
## Image d'une cellule Orbitrap

Relation entre la masse d'un ion piégé (par un champ électrostatique quadro-logarithmique) et la fréquence du signal associé

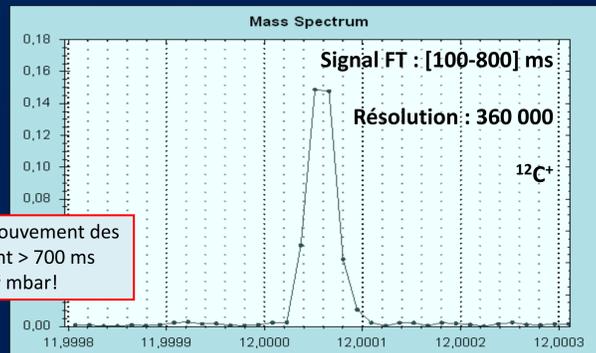


$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m/z}}$$

**Principe de l'instrument :** le faisceau d'un laser pulsé (337 nm) est focalisé sur une cible (recouverte d'un échantillon) pour générer des ions au point d'impact au travers d'un plasma. Les ions produits sont accélérés et focalisés grâce à une optique ionique vers l'ouverture d'entrée de l'Orbitrap qui réalise le piégeage électrostatique des ions grâce à une haute tension pulsée appliquée entre les électrodes externes et l'électrode centrale. Les oscillations des ions dans le piège induisent un signal sur les électrodes externes qui permet de déterminer leurs masses. Une électronique de pilotage permet de synchroniser le faisceau laser, la haute tension pulsée, le pré-ampli et l'acquisition du signal par le PC au travers d'une carte d'acquisition (Alyxan). Le signal numérisé est traité par transformée de Fourier pour obtenir un spectre de masse.



Echantillon métallique (zirconium)



Echantillon organique (carbone)

Enregistrement du mouvement des ions piégés pendant > 700 ms pression < 10<sup>-8</sup> mbar!

Echantillon	Masse nominale	Résolution
Carbone	12	360 000
Aluminium	27	270 000
Acier inox (Fe)	56	190 000
Zirconium	90	130 000
Adénine	136	105 000
Or	197	90 000

Résolution en masse nécessaire pour distinguer C, Al, Fe<sub>56</sub>, Zr<sub>90</sub>, Adénine et Or

## Préamplificateur

Le courant induit par l'oscillation des ions entre les deux électrodes de mesure de l'Orbitrap est détecté par le préamplificateur. Il le transforme en tension et l'amplifie afin d'être numérisé et traité par la carte d'acquisition et de traitement.



## Prototype de laboratoire au LPC2E



Un prototype Orbitrap de laboratoire est opérationnel au LPC2E, à Orléans. Il est utilisé pour mesurer les performances accessibles, définir et valider les spécifications d'un instrument spatial embarqué. Le principe instrumental est un LDI-MS (Laser desorption ionisation - mass spectrometry).

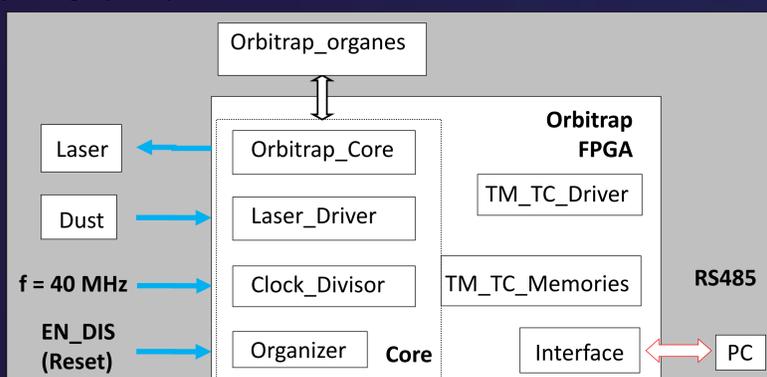
D'autres principes instrumentaux sont envisagés dans le cadre de futures missions spatiales qui requièrent chacun une préparation d'échantillon spécifique.

## Traitement du signal

Le signal issu d'un Orbitrap est une somme de fonctions sinusoïdales. Le traitement du signal se fait grâce à une FT, qui le transforme en un spectre de fréquence. La correspondance des fréquences avec les masses des ions piégés est réalisée avec la formule liant la masse à la fréquence. La résolution en masse optimale (100 000 à mi-hauteur du pic (FWHM)) est obtenue à partir d'un signal d'une durée minimum d'environ 700 ms à la masse 56 uma.

Récemment (août 2013), une résolution en masse d'environ 360 000 (FWHM) a été atteinte avec le carbone.

## Développement de cartes électroniques embarquées : HT pulsée ultra stable (TRL5), PA (TRL5), Electronique de pilotage (TRL4)



Instrument « Dust » : les ions sont générés par l'impact d'une poussière (vitesse de quelques km/s) sur une cible.

**Electronique de pilotage :** Les signaux de commande du spectromètre de masse sont générés à partir d'un circuit FPGA (Field-Programmable Gate Array) qui pilote les électrodes haute tension de l'analyseur Orbitrap, le laser et le préamplificateur. Un EGSE (Electrical Ground Support Equipment) réalise l'interface homme-machine via une liaison RS485.

Une carte HT pulsée ultra stable est en cours de développement par la société EREMS

Les éléments coeur ainsi qu'une électronique de contrôle d'un spectromètre de masse spatial, pour les missions futures sont développés par le Consortium Orbitrap Français en étroite collaboration avec l'inventeur de la technologie Orbitrap (Alexander Makarov) et la société ThermoFisherScientific (fabriquant les instruments commerciaux). Ce développement est financé par le CNES, les Labex ESEP et Voltaire, et la région Centre.