

## Soutenance de thèse du Service d'Astrophysique



### NOUVEAU SPECTRO-IMAGEUR CDTE A TRES HAUTE RESOLUTION SPATIALE ET SPECTRALE POUR L'ASTRONOMIE X ET GAMMA

**SEBASTIEN DUBOS**  
SAP

**Jeudi 9 avril 2015 – 14h30 - Salle Galilée – bât 713**

Les phénomènes consécutifs à la fin de vie des étoiles comptent parmi les plus énergétiques de l'univers. L'observation spécifique de leurs émissions de rayonnements X-dur et gamma donne accès à des informations sur la nature et la composition des étoiles parentes, aux mécanismes d'accélération des particules, ainsi qu'aux propriétés des corps massifs comme les trous noirs et les noyaux actifs de galaxies. Les observatoires opérant dans ces longueurs d'ondes ne peuvent être réalisés qu'au moyen de télescopes placés en orbite, et les contraintes sur la focalisation des rayons X imposent de disposer de plans de détection à haute résolution spatiale. L'IRFU (Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers) du CEA de Saclay a acquis depuis le lancement d'INTEGRAL en 2002 une solide expérience dans le développement de spectro- imageurs pixellisés en tellurure de cadmium (CdTe), destinés à être intégrés au plan focal d'observatoires spatiaux. La micro-caméra Caliste HD est actuellement le système le plus avancé de l'état de l'art (625  $\mu\text{m}$  de *pitch*, dynamique spectrale de 2 keV à 1 MeV, 0,7 keV de résolution à 60 keV et un bruit électronique de 50 à 70  $e^-$  rms). Ce module constitue le point de départ de mon travail de thèse.

Dans une démarche continue de recherche et développement, le projet MC2 (*Micro Cadmium- telluride on Chip*) vise à réaliser un nouveau type de spectro-imageur aux performances en imagerie et en spectrométrie accrues, dédié aux futures missions d'astronomie X-dur en imagerie directe. Ce développement constitue une rupture technologique par rapport aux détecteurs Caliste, en proposant de multiplier par 4 la densité de pixels et en cherchant à s'approcher de la résolution ultime en énergie des détecteurs CdTe.

Mon travail de thèse s'inscrit dans la première phase de ce développement, et a été mené selon plusieurs axes. En premier lieu, j'ai estimé de manière expérimentale les performances et limites des systèmes actuels. J'ai étudié les problématiques posées par des pixels de taille encore plus réduite, notamment les questions de seuil bas, d'efficacité de détection, de partage de la charge entre pixels et d'efficacité d'induction du signal.

Autre brique de base, une nouvelle génération d'électronique frontale intégrée (ASIC) à très bas bruit a été réalisée en interne, avec pour objectif de diviser par deux le bruit électronique. J'ai été responsable de sa mise en œuvre et de la réalisation des caractérisations complètes du prototype d'ASIC Caterpylar et de la première version de l'ASIC matriciel D<sup>2</sup>R<sub>1</sub>, destiné à être hybridé par *flip- chip* à un détecteur CdTe au pas de 300  $\mu\text{m}$ . D'excellentes performances ont été obtenues, avec des niveaux de bruit électronique moyens mesurés de 29  $e^-$  rms, permettant d'envisager des résolutions en énergie de l'ordre de 0,6 keV à 60 keV.

Afin de comprendre et d'optimiser les performances spectrales du détecteur CdTe, j'ai intégralement mené une activité de simulation et de modélisation du dépôt de l'énergie et des mécanismes de transport de la charge en fonction de la géométrie. J'ai cherché à optimiser de manière croisée la capacité électrique des pixels et de leurs interconnexions, le taux de partage de charges et l'homogénéité de l'induction du signal dans le détecteur. A partir d'un modèle couplé en partie à des observations, j'ai hiérarchisé et mis en évidence des limites importantes sur de tels détecteurs aux pas très fins, et proposé des moyens de les minimiser.

Enfin, un premier prototype fonctionnel (ASIC+détecteur) a été assemblé et les tout premiers tests expérimentaux réalisés.