

## DEVELOPPEMENT D'UN SPECTRO-IMAGEUR CdTe NUMERIQUE POUR APPLICATION SPATIALE

### DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Le CEA, le CNES et 3D PLUS sont partenaires dans la réalisation de spectro-imageurs miniatures à base de CdTe pixélisés à très haute résolution spectrale, spatiale et temporelle pour des applications en astrophysique spatiale dans le domaine des rayons X durs (2 - 250 keV). Ils ont développé une famille de modules de détection «Caliste». Ces caméras sont réalisées comme des composants de type System in Package (SiP), éventuellement aboutables sur quatre côtés et permettant la réalisation de plans focaux de plusieurs dizaines de  $\text{cm}^2$ , de taille et de forme arbitraire. Ils peuvent être installés sur des spectro-imageurs compacts, embarqués sur satellite. Le prochain vol est prévu à l'horizon de 2017 à bord du télescope solaire STIX, destiné à la spectro-imagerie fine des éruptions solaires. L'instrument sera positionné en orbite autour du soleil à bord de la sonde Solar Orbiter de l'ESA, première mission de taille moyenne du programme scientifique Cosmic Vision 2015-2025.

En parallèle, le CEA et le CNES préparent l'avenir en poursuivant un intense programme de recherche en instrumentation pour le développement de nouveaux modules à très haute densité de pixels – le projet MC<sup>2</sup> (Mini CdTe on-Chip). Ce type de détecteur intégrera une matrice de 4096 spectromètres indépendants au pas de 300 microns sur une surface typique de  $4 \text{ cm}^2$  à sortie numérique. Ces véritables micro-caméras gamma numériques seront parfaitement adaptées aux futurs télescopes spatiaux dont la résolution angulaire est de l'ordre de 10 à 20 arcsec pour une focale de 10 à 20 m. Ils trouveront également leur usage dans des sondes spatiales équipées de spectromètres à haute résolution à bord desquels les ressources systèmes sont limitées du point de vue de la masse, du volume ou encore de la puissance disponible.

Ce sujet fait suite à deux thèses conduites au CEA en partenariat avec le CNES :

La première thèse a permis de concevoir et tester

un circuit intégré prototype de  $16 \times 16$  pixels (ASIC D<sup>2</sup>R<sub>1</sub>) et ainsi de valider, dans une version matricielle de taille réduite, un nouveau type de filtrage intégré optimisé pour les détecteurs CdTe pixélisés. Par ailleurs, l'équipe de micro-électronique de l'IRFU a développé et testé un circuit intégré de conversion analogique numérique parallèle (OWB-1) optimisé pour la lecture de ce type d'ASIC. La deuxième thèse a conduit à une étude détaillée des performances et à l'optimisation du couple détecteur CdTe-ASIC dans une géométrie de dimension réduite.

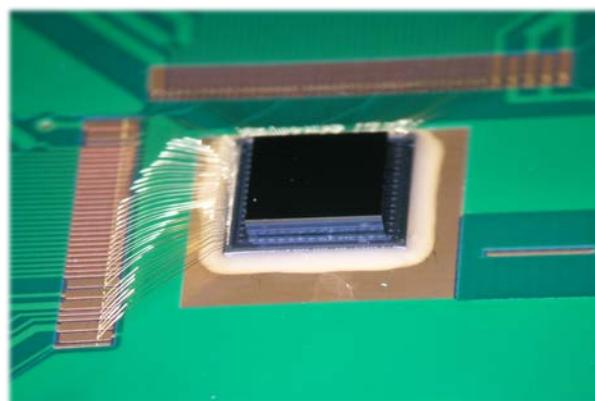


Figure 1 ASICD2R1 256 pixels hybridé à un détecteur CdTe pixélisé.

Aujourd'hui, pour passer à la conception d'un module complet aux dimensions réelles, nous devons passer à une approche système du module pour définir les interfaces et protocoles de communication entre les différentes briques de bases du module. Ceci nous permettra de définir sa géométrie puis de définir et concevoir son cœur : la puce D<sup>2</sup>R<sub>2</sub>, évolution à 1024 pixels optimisée de la puce D<sup>2</sup>R<sub>1</sub>. Il sera alors temps de réaliser en 2D puis de tester un module complet de spectro-imagerie à sortie « full » numérique.

Le but de cette thèse en microélectronique et instrumentation est donc de concevoir un prototype 2D de module spectro-imageur numérique de  $4 \text{ cm}^2$ . Ce module comprendra un unique détecteur CdTe de 4096 pixels hybridé à 4 ASICs D<sup>2</sup>R<sub>2</sub> de  $32 \times 32$  pixels chacun. Chacun de ces ASICs sera lu par un circuit de conversion

analogique numérique OWB-1. Ce module devra être un prototype 2D fidèle à un futur modèle 3D. Il devra donc être compatible avec la technologie 3D System In Package de type WDoD développée par 3D PLUS.

## DESCRIPTION

### GROUPE/LABO/ENCADREMENT

Le doctorant intégrera l'équipe de Microélectronique du Laboratoire Système Temps Réel Electronique d'Acquisition et Microélectronique (STREAM) et le Laboratoire Spectro-Imageurs Spatiaux (LSIS) du service d'astrophysique. Il sera principalement encadré par Olivier Gevin au laboratoire STREAM et par Olivier Limousin au LSIS. Olivier Gevin est responsable du groupe de microélectronique. Il est spécialisé dans la conception d'ASICs de lecture de détecteurs semi-conducteurs à très haute résolution spectrale. Olivier Limousin est chef du laboratoire LSIS et responsable scientifique du projet MC<sup>2</sup>. Il est spécialisé dans la conception de détecteurs CdTe pour l'astrophysique spatiale.

### TRAVAIL PROPOSE

Cette thèse comportera trois parties :

La première partie consistera à faire une analyse système du futur module. Le doctorant devra commencer par assimiler parfaitement le fonctionnement et les protocoles de communication des ASICs D<sup>2</sup>R<sub>1</sub> et OWB-1. Il devra ensuite, en s'appuyant sur l'expérience du laboratoire acquise sur les précédents modules et missions, imaginer les différents scénarios probables d'utilisation du module de spectro-imagerie dans un contexte de mission spatiale. Il devra ainsi inventer et/ou optimiser les protocoles de communication entre séquenceur externe et module, entre briques de base à l'intérieur d'un module, entre modules, et éventuellement entre pixels. De cette étude, le doctorant extraira une définition précise de la puce D<sup>2</sup>R<sub>2</sub> : de ses fonctionnalités, de ses interfaces et de sa géométrie.

La deuxième partie de la thèse consistera à concevoir la puce D<sup>2</sup>R<sub>2</sub>. La puce D<sup>2</sup>R<sub>2</sub> sera une matrice de lecture ultra bas bruit de 32x32 pixels au pas de 300 µm. L'architecture électronique de la partie analogique du pixel a déjà été validée par les tests réalisés sur la puce D<sup>2</sup>R<sub>1</sub>, il n'est donc

pas nécessaire de la modifier. Par contre, le doctorant sera amené à repenser l'architecture de lecture globale extra-pixel, voir à reconsidérer totalement les parties numériques in-pixel. Le design de la puce sera réalisé sous la suite de CAO *Cadence*.

La troisième et dernière partie de la thèse sera la conception du module 2D complet. Ce module sera une version « à plat » du futur module 3D. Les cartes PCB d'accueil des circuits de conversions seront réalisées sur PCB 3D PLUS et devront être parfaitement identiques à celles d'un futur module 3D. La caractérisation fine de ce nouveau module permettra de valider à la fois la nouvelle puce conçue et les différents protocoles de communications implémentés.

### FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Le candidat devra être titulaire d'un master et/ou d'un diplôme d'ingénieur avec une spécialisation en microélectronique. Une bonne connaissance de l'outil de CAO *Cadence* sera indispensable. Il aura un goût prononcé pour le travail de laboratoire et une aisance pour le travail en équipe. La pratique de l'anglais est essentielle.

### COMPETENCES ACQUISES

A travers son analyse système du module de spectro-imagerie dans son futur environnement, le doctorant développera, à l'échelle d'un petit instrument, les compétences d'un ingénieur système dans le domaine spatial. L'étroite collaboration avec des ingénieurs et physiciens lui permettra de développer et d'optimiser les chaînes de détection et les systèmes d'acquisition associés. Par ailleurs le design d'un ASIC ultra bas bruit en technologie sub-micronique pour la spectro-imagerie embarquée lui permettra de développer de nouvelles compétences dans le domaine plus général de la conception électronique pour l'imagerie, compétences valorisables aussi bien dans le monde académique qu'industriel.

### COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Le module sera réalisé en partenariat avec la société 3D PLUS.

### CONTACTS

Olivier Gevin [ogevin@cea.fr](mailto:ogevin@cea.fr) 01 69 08 17 16



Date limite de candidature : Avril 2016.