

## INTEGRATION DE CAPTEURS A TRANSITION SUPRACONDUCTRICE (TES) HAUTE IMPEDANCE POUR LA REALISATION DE SPECTRO-IMAGEURS-X POUR L'ASTROPHYSIQUE SPATIALE, ET DEVELOPPEMENT DE L'ELECTRONIQUE CRYOGENIQUE ASSOCIEE

### DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

La recherche en astrophysique requiert le développement de caméras de très hautes performances embarquées dans des observatoires spatiaux. L'observation de l'univers dans la gamme des rayons X (spectro-imagerie X) nécessite des détecteurs formés de matrices de micro-calorimètres fonctionnant à très basse température (50 mK). L'absorption par le détecteur d'un photon X provenant de l'objet céleste observé provoque une micro-élévation de température du détecteur. La mesure de cette élévation de température, qui permet de déterminer l'énergie du photon, requiert des micro-thermomètres ultrasensibles, et une électronique cryogénique ultra-bas bruit capable de les lire.

Deux technologies de thermomètres ont été utilisées jusqu'ici : les thermomètres à transition métal-isolant (MIS), de haute impédance, et les thermomètres à transition supraconductrice (TES), de très basse impédance. Chacune nécessite une électronique très spécifique, soit à base de transistors HEMT pour s'adapter aux hautes impédances, soit à base de SQUID pour s'adapter aux très basses impédances. Les hautes impédances ont l'avantage d'une dissipation thermique sur l'étage de détection extrêmement réduite, ce qui autorise un grand nombre de pixels, tandis que les TES très basse impédance, plus sensibles que les MIS, laissent espérer une meilleure résolution spectrale.

Récemment, un nouveau type de thermomètres a été mis au point : il s'agit de TES haute impédance, permettant potentiellement de concilier les avantages de l'un et l'autre types de détecteurs.

Le travail de thèse consistera à évaluer l'intérêt de cette nouvelle voie prometteuse en la mettant pour la première fois en œuvre. Pour cela une chaîne

de détection de quelques voies sera créée, intégrant ces nouveaux thermomètres haute impédance. La difficulté principale tient dans ses conditions de mise en œuvre : le détecteur doit être placé dans un cryoréfrigérateur pour être refroidi à très basse température (50 mK), et doté d'une électronique cryogénique, à concevoir, fonctionnant à 4 K. Celle-ci devra assurer non seulement l'amplification du signal, mais aussi la contre-réaction électrothermique active du détecteur (ce qui sera également une première), et ceci en satisfaisant aux contraintes de bruit et de dissipation thermique extrêmement sévères qu'exige la cryogénie spatiale.

Une fois ce nouveau détecteur évalué, le travail consistera à étudier une électronique intégrée d'amplification et de multiplexage capable de lire les milliers de pixels composant un spectro-imageur.

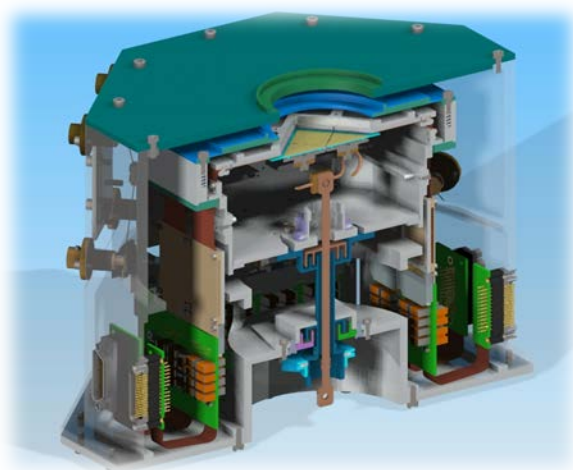
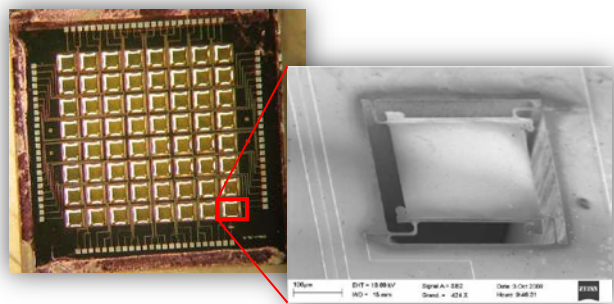


Figure 1 : Vue en coupe d'un spectro-imageur X et de son système d'intégration cryogénique.



**Figure 2 :** Prototype de matrice de détection 8 x 8 pixels (à gauche) et zoom sur un thermomètre suspendu (à droite).

## DESCRIPTION

### GROUPE/LABO/ENCADREMENT

Cette thèse sera réalisée à l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers (IRFU), au sein du Service d'électronique, des détecteurs et de l'informatique (IRFU/SEDI), et en collaboration étroite avec le Service d'astrophysique (IRFU/SAp).

Le groupe de recherche dans lequel cette thèse sera effectuée se consacre depuis plusieurs années au développement de spectro-imageurs à base de thermomètres haute impédance MIS, et conçoit à la fois les détecteurs, l'électronique cryogénique de lecture, et le système cryogénique dans lequel ils sont intégrés.

## TRAVAIL PROPOSE

Pour démarrer sa thèse, l'étudiant disposera d'échantillons de ces nouveaux thermomètres TES haute impédance, ainsi que d'une électronique cryogénique à base de transistors HEMT qu'il modifiera en fonction des besoins. Il concevra le montage de test et l'installera dans le cryoréfrigérateur, développant pour cela les différentes pièces nécessaires. Il mettra au point le prototype et effectuera des mesures qu'il confrontera à la modélisation électrothermique du système qu'il aura développée (simulations Spice). Il proposera des améliorations du système, qui pourront donner lieu à la fabrication de nouveaux thermomètres TES ou d'une nouvelle électronique cryogénique.

Une fois la chaîne mono-pixel validée, il étudiera et simulera une nouvelle électronique cryogénique (circuit intégré) capable de multiplexer et d'amplifier un grand nombre de voies.

## FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Ingénieur grandes écoles et/ou Master avec spécialité en électronique ou microélectronique. Des connaissances en physique du solide seront appréciées. Le candidat devra avoir à la fois le goût de l'expérimentation pratique, de la conception électronique, de la compréhension des phénomènes physiques et de leur modélisation.

## COMPETENCES ACQUISES

Au cours de cette thèse, l'étudiant acquerra de nouvelles compétences en électronique et micro-électronique cryogénique, électronique ultra-bas bruit et basse consommation, mise en œuvre cryogénique, modélisation électrothermique et techniques de micro-fabrication.

## COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Le laboratoire collabore sur ce projet avec :

- le CNRS/CSNSM, qui fabrique les TES haute impédance et avec qui il conçoit des absorbeurs d'un nouveau type,
- le CNRS/LPN, qui fabrique des transistors HEMT haute performance pour son usage spécifique,
- le CEA/Grenoble, pour la fabrication des détecteurs.

Le candidat sera amené à interagir avec ces différents laboratoires externes.

## CONTACTS

Xavier de la Broïse,  
CEA Saclay, DSM/IRFU/SEDI  
Bâtiment 141 p7c  
[labroise@cea.fr](mailto:labroise@cea.fr)  
01 69 08 40 93