



**DEPARTEMENT PHYSIQUE INSTRUMENTATION
ENVIRONNEMENT ESPACE (DPHY)**

Soutenance de thèse de Gaëtan CUSSAC

Mercredi 14 décembre 2022 – 14h00

Auditorium ONERA Toulouse

**ÉTUDE ET MODELISATION DES MECANISMES DE DEGRADATION
AUX TEMPERATURES CRYOGENIQUES DES PROPRIETES
ELECTRIQUES DES CIRCUITS DE LECTURE DE DETECTEUR
INFRAROUGE**

*Study and modeling of the degradation mechanisms at cryogenic temperature of
the electrical properties induced by ionizing environments in readout integrated
circuit of infrared detectors*

Devant le jury :

- Mme Karine COULIÉ** Rapporteuse
Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence (IM2NP)
(Université Aix Marseille)
- M. Philippe PAILLET** Rapporteur
Commissariat de l'Énergie Atomique – DAM Île-de-France
- M. Patrick AUSTIN** Examineur
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS)
(Université de Toulouse)
- M. Frédéric SAIGNÉ** Examineur
Institut d'électronique et des systèmes
(Université de Montpellier)
- M. Olivier GILARD** Examineur
CNES
- M. Laurent ARTOLA** Directeur de thèse
Onera Toulouse

RÉSUMÉ

L'essor des télécommunications ou l'étude du changement climatique implique un besoin croissant de systèmes électroniques embarqués sur satellite. L'entreprise Lynred développe des imageurs infrarouges, dont une branche est dédiée aux applications spatiales d'observation terrestre. La surveillance des températures de la surface terrestre, des eaux côtières ou continentales en sont des exemples. Pour réduire le rapport signal sur bruit, et ainsi atteindre un haut niveau de performance, les imageurs infrarouges se doivent d'être refroidis aux températures cryogéniques (50-150 K). Par ailleurs, les imageurs infrarouges se basent sur l'utilisation de transistors de type Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS). Les transistors CMOS sont utilisés à l'interface entre le circuit de détection et le circuit de lecture. Ainsi, ils fonctionnent aussi aux températures cryogéniques. En outre, l'environnement spatial est un milieu radiatif naturel particulièrement actif, marqué par la présence de particules énergétiques d'origine cosmique ou solaire. Ces radiations perturbent les systèmes électroniques embarqués, jusqu'à leur défaillance totale. Les radiations se traduisent par une accumulation de charges dans les oxydes. Ce sont les effets de la dose ionisante, ou TID pour Total Ionizing Dose, sur lesquels mes travaux se penchent. Du fait des enjeux commerciaux critiques d'un satellite, ainsi que de l'aspect cumulatif et donc prévisible des dégradations, il est primordial pour Lynred de s'assurer du fonctionnement correct des imageurs embarqués durant toute la durée de vie du satellite.

Les températures cryogéniques auxquelles fonctionnent les transistors influent sur la performance de l'électronique d'une part. D'autre part, les mécanismes physiques conduisant aux dégradations des performances électroniques sont modifiés par les températures cryogéniques. La problématique qui en découle est l'identification et la modélisation des mécanismes physiques aboutissant aux dégradations électriques des transistors CMOS fonctionnant aux températures cryogéniques sous rayonnement ionisant. Pour y répondre, des campagnes d'irradiation ont été menées à l'ONERA à des températures de 105, 150 et 300 K. Afin d'analyser les caractéristiques électriques obtenues, un inventaire des méthodes d'extraction des paramètres électriques est dressé. Il a été démontré que celles classiquement utilisées échouent dans l'obtention de métriques électriques à température cryogénique, et qu'il était nécessaire de les adapter à notre problème. Grâce aux méthodes d'extraction valides, nous avons démontré et expliqué pourquoi les dégradations électriques étaient plus prononcées pour les températures cryogéniques. Ensuite, un régime de dégradation spécifique aux températures cryogéniques a été mis en évidence expérimentalement. La compréhension de son origine a été confirmée par des simulations performées sur l'outil numérique Sentaurus TCAD. Les bases d'un modèle analytique physique simulant ce régime spécifique ont été posées pour finir.