

## Soutenance de thèse

**Marie-Cécile URSULE** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA OLIMPES et intitulée « *Compréhension des mécanismes physiques à l'origine des dégradations électriques extrêmes des pixels dans les capteurs d'images irradiés* »

**Le 26 septembre 2017 à 9h00, auditorium ONERA**

devant le jury composé de

M. Jean-Luc AUTRAN	Professeur Université Aix-Marseille	Rapporteur
M. Laurent DUSSEAU	Professeur Université de Montpellier	Rapporteur
Mme Bénédicte ESCUDIER	Professeur ISAE-SUPAERO	
M. Christophe INGUIMBERT	Ingénieur de recherche ONERA	Codirecteur de thèse
M. Thierry NUNS	Ingénieur de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Christian POIVEY	Ingénieur ESTEC ESA	

### Résumé

Dans le domaine du spatial, les capteurs d'images embarqués à bord des satellites sont utilisés pour l'observation terrestre, spatiale ou encore le calcul d'attitude. Deux technologies sont en concurrence pour ces applications : les CCD et les CMOS. Ces capteurs évoluent dans l'environnement spatial dont les rayonnements entraînent une dégradation de leurs performances. En effet, les interactions rayonnement-matière génèrent des déplacements atomiques et l'ionisation de la matière. Parmi les paramètres impactés, nous nous intéressons en particulier à l'augmentation du courant d'obscurité des pixels. Ce courant parasite correspond à la génération de porteurs de charges sans lumière par simple excitation thermique, induisant l'augmentation du bruit de fond des images et une réduction de la dynamique. L'augmentation du courant d'obscurité n'est pas homogène sur l'ensemble de la matrice de pixels des imageurs. Il apparaît une distribution des amplitudes de dégradation (appelée en anglais Dark Current Non Uniformity). Les pixels fortement dégradés appelés pixels chauds sont particulièrement pénalisants pour les missions spatiales. Cet effet pousse donc la communauté spatiale à développer des méthodes de prédiction performantes. L'ONERA a développé une méthode originale de prédiction des courants d'obscurité induits par les radiations spatiales, basée sur la méthode de Monte Carlo et la librairie GEANT4. Cette méthode permet, à partir de données géométriques des pixels, de reproduire la distribution de courant d'obscurité sur la matrice de pixels générée par les déplacements atomiques qui sont à l'origine des courants les plus extrêmes. L'objectif de la thèse est d'améliorer la prédiction de l'outil. La démarche de ces travaux a consisté dans un premier temps à modifier l'outil numérique pour des cas extrêmes de modélisations (forte fluence, grand volume de pixel) pour lesquels les modélisations Monte Carlo sont trop longues. Pour réduire ce temps de calcul excessif, nous avons développé dans l'outil des méthodes utilisant des simplifications statistiques. Ces méthodes, basées sur le théorème central limite, s'inspirent de méthodes analytiques issues de la littérature. En comparant ces méthodes simplifiées à la méthode originale de Monte Carlo, nous avons pu déterminer leur domaine d'application en fonction des paramètres d'entrée (géométrie du pixel, fluence). Dans un second

temps, nous avons étudié l'influence de la géométrie du pixel sur le courant d'obscurité. L'idée est de suivre les cascades de dégradations engendrées par les particules spatiales et de déterminer si ces cascades restent confinées au sein du pixel impacté ou si elles se propagent dans les pixels voisins. En d'autres termes, l'objectif est d'observer d'éventuels effets de bords. Pour cela, nous avons étudié les cascades de dégradations au sein de géométries de pixel de différentes dimensions. Les DCNU engendrées dans ces géométries par différents flux de particules en incidence normale ont été comparées. Des effets de bords sont visibles dans le cas de petites géométries, plus petite que les géométries de pixels actuellement utilisées dans les capteurs. Enfin, nous avons intégré la prise en compte des mécanismes liés au champ électrique potentiellement responsables des dégradations les plus élevées. Il s'agit des effets Poole-Frenkel et tunnel assisté par phonons. Un modèle permettant de simuler ces mécanismes d'amplification a été élaboré. Ce modèle, qui prend en compte la répartition du champ électrique dans la zone de charge d'espace et la nature des pièges les plus pertinents pour la génération thermique, a ensuite été intégré dans notre outil numérique et validé grâce à des comparaisons entre les résultats des simulations et des données expérimentales. L'ajout de ces mécanismes dans l'outil numérique permet d'améliorer la prédiction de la variation du courant d'obscurité et plus particulièrement d'affiner la précision sur le nombre de pixels chauds.