

## Soutenance de thèse

**Hugo DEWITTE** soutiendra sa thèse de doctorat préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA OLIMPES et intitulée «*Effets des hautes doses de radiation et étude des fuites de jonction dans les technologies CMOS pour applications analogiques*»

**Le 7 mars 2022 à 14h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

M. Vincent GOIFFON	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Philippe PAILLET	Directeur de recherche CEA-DAM	Co-directeur de thèse
M. Paul LEROUX	Professeur KU Leuven Belgique	Rapporteur
M. Federico FACCIO	Responsable CERN Microelectronics section	Rapporteur
Mme Serena RIZZOLO	Ingénieure Airbus Defence & Space	
M. Olivier GRAVRAND	Directeur de recherche CEA-LETI Grenoble	
M. Daniel FLEETWOOD	Professeur Vanderbilt University Etats-Unis	

**Résumé :** L'électronique est aujourd'hui un outil central et essentiel dans notre société. Il a investi les objets du quotidien, et nous l'utilisons directement ou indirectement des dizaines de fois chaque jour sans même nous en rendre compte. Depuis l'introduction du transistor tel qu'on le connaît à la fin des années 40, l'électronique n'a cessé de s'améliorer et de se spécialiser pour devenir plus efficaces dans chaque application. Aujourd'hui, leurs formes la plus répandue est sans conteste la technologie MOS.

C'est donc tout naturellement que l'on retrouve des circuits électroniques MOS dans les applications spatiales et nucléaires, où ils remplissent une multitude de fonctions essentielles. Ces environnements ont cependant une particularité importante : ils sont chargés en radiations, ce qui a pour effet de dégrader les composants électroniques. Ces dégradations sont d'autant plus problématiques que les circuits exposés à de tels environnements sont généralement censés fournir d'excellentes performances et garantir une haute fiabilité. Pour assurer un bon fonctionnement de ces circuits, il est donc nécessaire d'étudier les effets de ces milieux radiatifs sur les performances de l'électronique MOS.

De plus, et c'est la motivation de cette thèse, ces applications en milieux radiatifs sont en plein essor. Non seulement la demande pour ce genre de circuits augmente, mais la dose maximale de radiations reçue par l'électronique sur sa durée de vie devrait dépasser des niveaux inédits. Ces nouvelles doses et leurs effets sur l'électronique sont encore peu investigués, et l'étude de ces effets est donc primordiale pour permettre l'utilisation future de l'électronique dans ces milieux, que ce soit dans le nucléaire, le spatial ou ailleurs.

En particulier, cette thèse étudie les effets des hautes doses de radiation ionisante sur des transistors MOS (MOSFETs) à destination de circuits analogiques, circuits qui s'avèrent être souvent plus exposés que les autres. Tout cela dans le but de, d'un côté, être capable de mieux anticiper ces effets et, d'un autre, pouvoir les contrecarrer quand cela est possible.

La thèse traite d'abord de la dégradation durant des irradiations des paramètres des MOSFETs tel que le courant maximum, la tension de seuil ou le courant de fuite. Les effets de la tension, de l'épaisseur des oxydes, du design et de la taille du transistor y sont en particulier approfondis. Les résultats mettent en avant le fort rôle des tensions pendant les irradiations sur le type de défaut créés, en particulier dans la grille, ainsi que l'apparition d'un effet de canal court (RISCE) dans un nœud technologique plus gros que dans ceux où il avait été observé auparavant. En plus, cette étude des paramètres des MOSFETs met en avant une importante augmentation du courant de génération après de hautes doses ionisantes dans les jonctions pn du transistor. S'en suit une étude approfondie de ce courant.

Dans un second temps, la thèse étudie le phénomène de RTS (Random Telegraph Signal) dans ce courant de fuite de jonction des transistors. Pour cela, une structure de test capable de mesurer en parallèle des dizaines de milliers de courants de fuite est introduite. Grâce à celle-ci, le RTS est étudié de manière statistique avant et après

irradiations. Les résultats, en accord avec des simulations à l'échelle atomique, soutiennent l'hypothèse de défauts métastables comme origine du phénomène RTS dans les fuites de jonctions.

**Mots-clés :** CMOS – MOSFET – Effets des radiations - Effets des rayonnements ionisantes - Exploration spatiale - Fusion nucléaire

**Summary:** The electronics circuit has become a central and essential tool in our modern society. It invested the objects of everyday life, and we directly or indirectly use dozens of them every day without even realizing it. Since the introduction of the transistor as we know it at the end of the '40s, electronics circuits have continued to improve and specialize to become more efficient in every application. Today, the most widely used technology for designing these electronics is the MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) technology.

Therefore, it is pretty natural to find MOS electronics circuits in all the space and nuclear applications where they perform a multitude of essential functions. However, these environments have the particularity to have a high density of radiation which degrades the electronic components. These degradations are all the more problematic as the circuits exposed to such environments are often supposed to provide excellent performance and high reliability. In order to guarantee the proper functioning of these circuits, it is, therefore, necessary to study the effects of these environments on the MOS electronics performances.

Moreover, and this is the motivation for this thesis, these applications in radiative environments are booming. Not only is the demand for such circuits increasing, but the maximum radiation dose received by the electronics over its lifetime is expected to exceed unprecedented levels. These new doses and their effects on electronics are still poorly investigated, and the study of these effects is, therefore, essential to allow the future use of electronics in these environments, whether in nuclear, space or elsewhere.

In particular, this thesis studies the effects of high doses of ionizing radiation on MOS transistors (MOSFETs) for analog circuits, circuits that are often more exposed than others. All this with the aim of, on the one hand, being able to anticipate these effects better and, on the other hand, counteract them when possible.

The thesis first deals with the degradation during irradiation of MOSFET parameters such as the maximum current, the threshold voltage, or the leakage currents. In particular, the effects of voltage, oxide thickness, design, and size of the transistor are investigated. The results highlight the decisive role of the voltages during the irradiations on the type of defects created, particularly in the gate, along with the appearance of a short channel effect (RISCE) in a larger technology node than previously observed. Finally, this study of the parameters of MOSFETs highlights the significant increase of the generation current after high ionizing doses in the pn-junctions of the transistor. An in-depth analysis of this current follows.

In a second step, the thesis studies the phenomenon of RTS (Random Telegraph Signal) in this pn-junction leakage current of the transistors. For this purpose, a test structure capable of measuring tens of thousands of leakage currents in parallel is introduced. Thanks to this structure, the RTS is statistically studied before and after irradiations. The results, in agreement with atomic-scale simulations, support the hypothesis of metastable defects as the origin of the RTS phenomenon in leaky junctions.

**Keywords:** CMOS – MOSFET - Radiation effects - Ionizing radiation effects - Space exploration - Nuclear fusion