

## **Introduction générale**

Les équipements électroniques utilisés dans les applications aéronautiques, militaires et spatiales tels que les calculateurs de vols, les dispositifs de sécurité etc... doivent répondre à des objectifs de qualité et de fiabilité très sévères. La fonction assurée par un circuit intégré n'est donc pas un argument technique et commercial suffisant : le fabricant de composants doit aussi s'assurer que ses circuits peuvent supporter des agressions notamment électromagnétiques, électriques ou radiatives externes caractéristiques d'un milieu hostile.

Les problèmes liés aux décharges électrostatiques (ESD) sont devenus un souci majeur à la fin des années 1970, date à laquelle la première conférence internationale sur les ESD fut organisée et à partir de laquelle les microprocesseurs commencent à être couramment utilisés [CHAN00]. Une ESD survient lorsque des charges électriques sont transférées entre deux corps soumis à une différence de potentiels. Le risque d'apparition de tels événements est important à chaque étape de la fabrication des composants, pendant leur introduction finale dans un système et pendant la vie des équipements électroniques. Les décharges génèrent des densités de courant et des champs électriques très élevés qui induisent des défauts sévères (circuits détruits) ou, plus sournoisement, créent des sites latents de défaillances au sein des composants. A ce jour, plus de 50% des retours clients sont ainsi attribués aux ESD ou aux surcharges électriques (EOS Electrical Overstresses) [AMER95].

Pour limiter les risques de dégradations, les décharges électrostatiques sont combattues sur deux fronts. D'une part, l'environnement est traité et contrôlé (mise à la masse des surfaces susceptibles de recevoir des composants, utilisation de surfaces et de vêtements antistatiques, ionisation de l'air...). D'autre part, des structures de protection sont incorporées dans les systèmes, dans les équipements, sur les cartes électroniques et dans les circuits intégrés. Leur rôle consiste à évacuer le courant de décharge ou à écrêter la tension sans perturber le fonctionnement normal du circuit.

En ce qui concerne les circuits, leur robustesse est augmentée par rapport aux ESD. Toutefois, avec la forte réduction des dimensions et des tensions d'alimentation

réalisées sur les circuits intégrés modernes, les problèmes liés aux ESD se sont considérablement aggravés. De plus, les méthodes empiriques et itératives utilisées pour concevoir des structures de protection puis pour qualifier la robustesse des circuits intégrés vis-à-vis des ESD sont de moins en moins adaptées aux contraintes de réduction des temps de développements des nouveaux composants. Aussi, pour assurer la fiabilité de ces composants, les équipementiers et les fabricants ne peuvent plus se limiter aux tests ESD traditionnels.

Pour limiter les défaillances associées aux ESD, l'objectif de ce travail est, dans ce contexte, de présenter une approche plus méthodique alliant méthodes de caractérisations expérimentales et simulations physiques pour évaluer la robustesse de structures élémentaires de protection microniques et submicroniques contre les ESD. Ce type de démarche permettra ensuite de mieux comprendre les méthodes de tests ESD et de **définir des critères de sélection pour les utilisateurs de composants.**

Le premier chapitre fait une synthèse des pratiques actuelles. Il tente d'identifier les questions majeures que se posent technologues, concepteurs et utilisateurs de composants. Les différents modèles de décharge, les phénomènes physiques et les modes de défaillances associés aux ESD y sont présentés. Les principes fondamentaux de la protection des composants électroniques contre les décharges électrostatiques y sont également rappelés.

Le deuxième chapitre est consacré à la simulation numérique des phénomènes physiques présents lors de décharges électrostatiques. Après un rapide rappel sur la simulation des étapes technologiques de fabrication des composants, le document s'étend plus longuement sur la simulation physique 2D du comportement de composants soumis à une décharge électrostatique. Il présente les modèles empiriques et les équations électro-thermiques que résout le logiciel de calcul. Différents types de tests ESD peuvent être pris en compte par l'outil de simulation. Ce chapitre recense les approximations et leur impact sur la validité des résultats de simulation physique. Le dernier point abordé concerne l'extraction des paramètres ESD. Il fait état des modèles électriques équivalents construits à partir de ces paramètres et utilisés pour les simulations globales des circuits intégrés.

Le troisième chapitre présente les travaux relatifs à l'évaluation de la tenue ESD de technologies matures. Deux structures élémentaires de protection contre les décharges y sont étudiées et comparées : un transistor GGNMOS (Grounded Gate NMOS) et un dispositif LVTSCR (Low Voltage Triggering Silicon Controlled Rectifier). Ces travaux posent la question de la représentativité des mesures et de la validité des résultats de simulation. Ils permettent de qualifier l'outil de simulation physique pour des composants microniques soumis à des ESD.

Le quatrième chapitre traite de l'évaluation de la tenue ESD de composants submicroniques. Pour la simulation physique, le choix des équations à résoudre (électro-

thermique seul ou électrothermique et hydrodynamique) se pose pour les composants des technologies 0,18  $\mu\text{m}$ . Des études ont donc été réalisées sur une structure GGNMOS très épurée pour fixer des conditions de simulation adaptées aux contraintes de temps de calcul. Le chapitre illustre ensuite le fonctionnement d'un thyristor classique et compare ce composant à un dispositif LVTSCR et un transistor GGNMOS de même technologie puis il décrit l'impact du facteur d'échelle et des évolutions technologiques sur la robustesse des structures de protection contre les décharges électrostatiques.

La conclusion de ce manuscrit reprend ces différents aspects de la protection des composants contre les décharges électrostatiques. Elle est ensuite complétée par une annexe de diffusion restreinte qui donne des recommandations et des critères de sélection des composants utilisables dans des applications aéronautiques, militaires et spatiales.