

Estimation de la durée de vie résiduelle de composant électronique par modélisation multiphysique

Doctorant : Corentin ROULEAU

Directrice de thèse : Alexandrine GUEDON-GRACIA (IMS)

Co-directeur de thèse : Loïc THEOLIER (IMS)

Encadrante industrielle : Karine MANSOULIE (EDF)

Laboratoires : Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système (IMS) – EDF Lab Les Renardières

Contexte : La volonté du groupe EDF de maintenir en fonctionnement le parc nucléaire actuel au-delà des 40 ans initialement qualifiés nécessite une maîtrise approfondie du vieillissement de l'ensemble du matériel installé. Au fur et à mesure de l'exploitation, les composants électroniques équipant les cartes de contrôle commande vieillissent, leurs caractéristiques électriques et physiques évoluent, affectant leur performance et leur fiabilité. La caractérisation de l'état de vieillissement permet de suivre ces changements et de prédire la durée de vie restante des composants. L'objectif est ainsi d'optimiser les opérations de maintenance et de réparation, afin de poursuivre l'exploitation jusqu'à 60 ans. Le suivi du vieillissement des cartes électroniques équipant les CNPE, repose aujourd'hui majoritairement sur des expertises visuelles permettant d'évaluer l'état de dégradation global des cartes. Cette analyse montre aujourd'hui des limites. En effet, nombre de défaillances prématurées constatées résultent d'une dérive des paramètres électriques de différents composants électroniques non constatable visuellement. Afin d'évaluer l'état de vieillissement des cartes à partir de mesures électriques et évaluer leur capacité à poursuivre l'exploitation, il est nécessaire de disposer d'un modèle de comportement permettant de simuler sur de longues durées (40 à 60 ans) l'évolution des paramètres électriques des composants les plus critiques. Ainsi à partir de la signature électrique d'un composant électronique à un instant donné et de son profil de mission, il sera possible de déterminer son état de santé et simuler son comportement pour les 20 années à venir. La concaténation de l'ensemble des modèles pour les composants de la carte au sein d'un jumeau numérique de celle-ci pourra permettre de la situer sur sa courbe de vie et anticiper son comportement pour les années suivantes. L'approche la plus précise pour une prédiction des dérives électriques à long terme se base sur l'extraction de modèles de dérives des composants, établis à partir de mesures de vieillissement accéléré, de modèle de type physics-of-failure et de modèles d'accélération du vieillissement, ajustés en tenant compte des profils de mission réels. Les modèles de vieillissement classiques tels qu'Arrhénius, Coffin Manson ou Peck ne permettent pas de prendre en compte l'effet de stress électriques et présentent également des limites : ils s'appliquent à un mécanisme de dégradation unique et ne peuvent pas traduire l'impact de dégradations cumulées au cours de la vie de l'équipement. En outre, il est constaté qu'une même référence de composant électronique monté à deux endroits distincts sur une même carte électronique peut présenter 2 cinétiques différentes de vieillissement de ces paramètres électriques. En excluant les défauts natifs de packaging ou de report sur la carte, il apparaît que l'environnement proche et l'état des composants adjacents peut présenter un impact sur l'évolution des paramètres électriques sur un temps long.

Objectif de la thèse : L'objectif à travers ce projet de thèse est de déterminer une méthodologie permettant, à partir d'une signature électrique d'un composant électronique et de son profil de mission, de déterminer son état de santé et de simuler son comportement pour les 20 années à venir. L'élaboration d'un modèle de comportement multiphysique permettant de simuler le comportement électrique de transistors bipolaires montés sur cartes pour des temps longs (60ans) devra être capable de faire le lien entre les dégradations physiques du composant et sa signature électrique. Celui-ci sera ensuite intégré à un modèle de jumeau numérique permettant de prédire l'évolution d'un système incluant le composant électronique soumis au test. Pour cela il est nécessaire de bien comprendre et de bien établir les mécanismes de vieillissement à l'œuvre pour le profil de mission considéré afin de construire des modèles pertinents. Ainsi seront étudiées et modélisées les cinétiques de vieillissement des transistors soumis à des contraintes continues en prenant en compte le caractère multi-physique de cette problématique, les interactions entre les différents stress et l'impact des composants adjacents. Ce modèle devra permettre de déterminer un critère de fin de vie pour les applications considérées.