

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Modélisation des effets des radiations dans les composants électroniques GaN**

Référence : **PHY-DPHY-2025-30**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse** : octobre 2025

**Date limite de candidature** : mars 2025

### Mots clés

Monte Carlo, ionisation, basse énergie, GEANT4, GaN, DFT, fonction diélectrique

### Profil et compétences recherchées

Nous recherchons un étudiant Physicien Master et/ou 5<sup>ème</sup> année école d'ingénieur ayant des connaissances de physique générale, physique du solide, physique des matériaux, physique du composant.

Les écoles et formations types : Master (Université)

Ecoles d'ingénieurs (INSA Lyon, Toulouse, Polytech, Telecom Physique Strasbourg, PHELMA,....)

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les radiations, qu'elles proviennent de sources comme l'espace ou d'environnements liés à l'activité anthropique comme le nucléaire civil, produisent des défaillances et accélèrent le vieillissement des composants électroniques. Cette problématique est commune au CEA et à l'ONERA qui développent des solutions pour pallier les nuisances occasionnées par les environnements radiatifs les plus contraignants comme ceux des ceintures de radiation spatiale ou des centrales nucléaires. En effet, l'ionisation, c'est-à-dire les charges produites au cours d'une irradiation par interaction coulombienne avec les électrons du matériau irradié, perturbe fortement le fonctionnement des électroniques des systèmes contraints par ces environnements. Cela produit des transitoires, comme des dégradations cumulées, ces dernières entraînant la dérive des caractéristiques des composants électroniques. Il est donc capital d'évaluer précisément les densités de porteurs de charge (ionisation) générés dans les parties sensibles des composants (jonction PN...). La modélisation fine du transport des particules chargées (électrons, protons et ions) dans les matériaux de la microélectronique est donc essentielle pour estimer au mieux le dépôt dans les volumes sensibles des structures élémentaires de l'électronique.

Dans ce contexte, le CEA, en partenariat avec l'ONERA, a développé au cours de deux thèses précédentes le module MicroElec implémenté dans la librairie Geant4 (<https://geant4.web.cern.ch/>) dédiée au transport des particules dans la matière par la méthode de Monte Carlo. Ce module permet d'estimer l'ionisation induite par le passage d'une particule énergétique dans les composants électroniques et d'estimer ainsi la réponse d'une technologie à un environnement radiatif. Le module MicroElec, qui permet actuellement le transport dans 17 matériaux adaptés à la microélectronique actuelle, ne traite pas le cas du GaN à la base du développement de technologies ayant actuellement un fort intérêt industriel par leurs performances en puissance et en RF. L'objectif est donc d'étendre le code de transport de Monte Carlo à des matériaux à base de GaN ( $Al_{1-x}Ga_xN$  avec  $x=0, \dots, 1$ ).

Le principal objectif consiste donc à calculer pour les particules incidentes (électron, proton, ion), les sections efficaces d'interaction coulombienne utilisées dans le code de Monte Carlo. Dans un deuxième temps, on utilisera le code pour évaluer les dépôts d'énergie dans des volumes sensibles représentatifs des technologies modernes et évaluer le risque induit par les rayonnements sur certains composants. Le calcul des sections efficaces repose sur l'exploitation de l'indice diélectrique complexe du matériau. Cependant, cette grandeur n'est pas disponible pour le GaN et certains de ses alliages ( $Al_{1-x}Ga_xN$  avec  $x=0, \dots, 1$ ). Le travail consiste donc à étudier la fonction diélectrique du GaN et de son évolution avec sa composition (variable de concentration  $x$ ). Ce travail sera fait dans une fenêtre d'énergie allant jusqu'à l'ultraviolet lointain, mais aussi en présence de défauts ponctuels (lacunes, interstitiels, de substitution), voire de dopage électronique (dû, par exemple, à des ions Fe piégés en phase de fabrication). Les méthodes employées seront principalement des techniques à premiers principes (ab-initio) dans le cadre de théories fondées sur la fonctionnelle de la densité (DFT et TD-DFT) et sur les fonctions de Green (approximation GW). La DFT assure une description fiable de la structure atomique et de la densité électronique de l'état fondamental, mais pour simuler la fonction de réponse et donc, in fine, la fonction diélectrique, il faut nécessairement utiliser des théories plus avancées qui donnent accès aux états excités (TD-DFT et GW).

Le travail consistera donc à mettre en place les simulations à l'échelle atomique pour le GaN et ses alliages, de calculer les fonctions de perte d'énergie (fonction diélectrique), d'en déduire les sections efficaces d'interactions coulombiennes afin d'alimenter un code de Monte Carlo (GEANT4) et in fine faire des simulations pour des cas concrets de défaillances.

### **Collaborations envisagées**

Financement 50% CEA, 50% ONERA et partenariat avec l'unité mixte ONERA/CNRS DMAS/LEM

#### **Laboratoire d'accueil CEA DAM**

Lieu : Bruyères-Le-Châtel

Contact : Damien LAMBERT

Email: [damien.lambert@cea.fr](mailto:damien.lambert@cea.fr)

#### **Directeur de thèse**

Nom : Christophe INGUIMBERT

Laboratoire : ONERA-DPHY

Tél. : 05 62 25 27 34

Email : [christophe.inguibert@onera.fr](mailto:christophe.inguibert@onera.fr)

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>