

Offre de sujet de Post-doc – durée de 12 mois – 2026 - 2027 au Laplace.

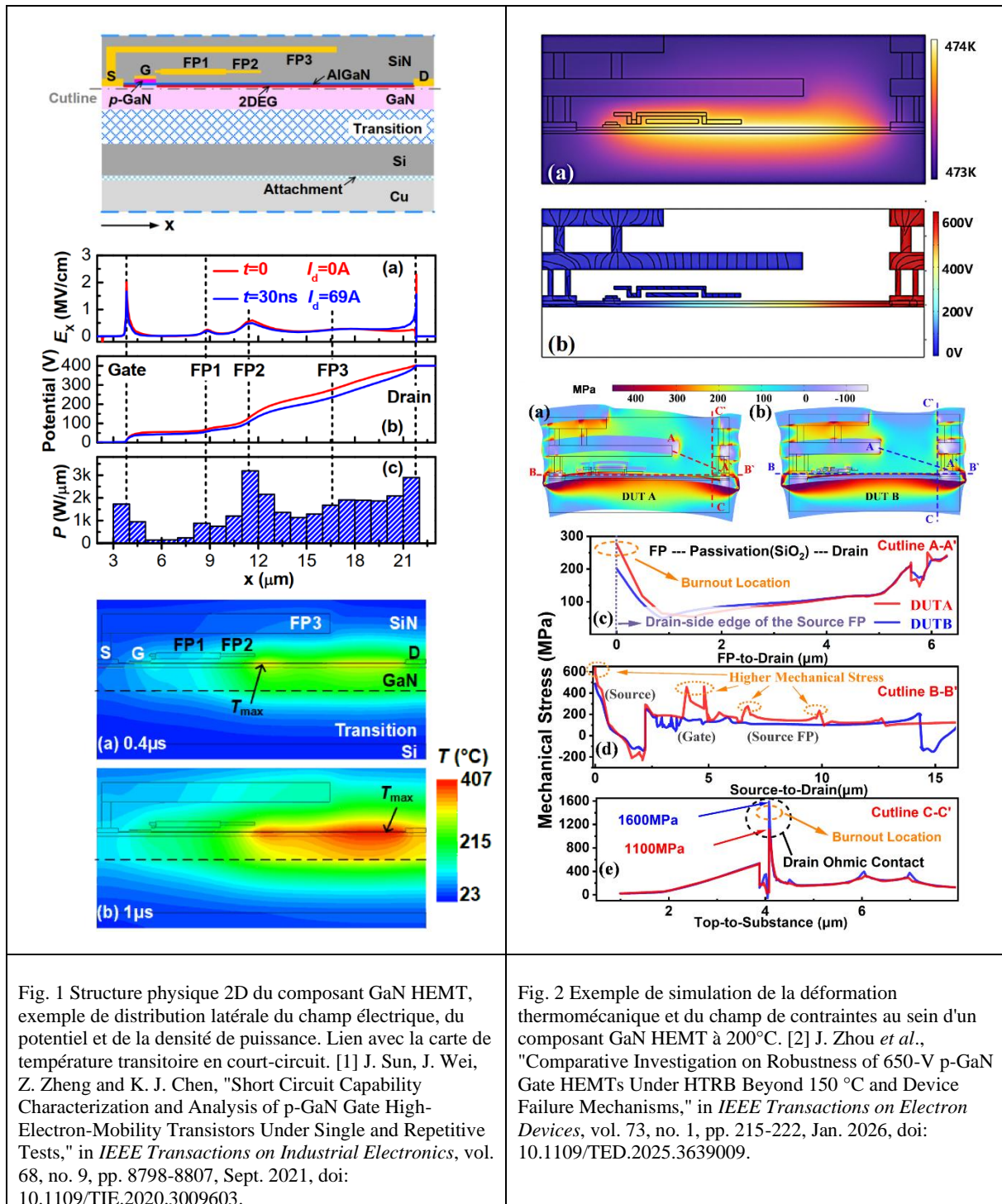
**Développement d'un modèle de simulation multi-physique 2D
d'un transistor de puissance GaN HEMT dans l'environnement de simulation Comsol™.**

**Application à l'étude des stress thermiques, métallurgiques et thermo-mécaniques
en régime extrême de court-circuit fonctionnel.**

1) Contexte et Objectifs du Sujet

Issue du domaine de la Radio Fréquence, la technologie de transistor de puissance à grand gap au nitrure de gallium de type "high electron mobility transistor" (GaN HEMT) est sur le point de s'imposer comme une voie incontournable pour la conversion de l'énergie en basse et moyenne tension (<1000V), à très haute fréquence de découpage (>500kHz) et à très haut rendement (>0,98). De telles performances sont incomparables et permettent d'atteindre dès aujourd'hui des densités de puissance traitées de 15kW/kg voire bien plus selon la puissance mise en jeu, le mode de refroidissement et à coût très compétitif. Malgré les avancées tant sur le plan de la recherche fondamentale (physique du dispositif, architecture du composant) que sur le plan technologique (fabrication, fiabilisation et industrialisation), très peu de modèles de simulation physique et multiphysique "génériques et ouverts" sont disponibles à ce jour pour le concepteur comme pour l'intégrateur. Ce type de modèles est pourtant indispensable pour évaluer les marges de protection et plus généralement les niveaux de robustesse du composant en présence de stress extrêmes à haute température en situation accidentelle telle que le court-circuit. Un niveau suffisant de robustesse est d'ailleurs requis pour "certifier" le composant dans de nombreux secteurs applicatifs critiques et en particulier les systèmes embarqués. Ces modèles sont de type TCAD – FEM et permettent un diagnostic physique, géométriquement localisé et temporel sur les champs de contraintes thermiques (cartes de température), métallurgiques (front de fusion dynamique solide – liquide des électrodes métalliques), mécaniques (fissuration incrémentale et rupture de couches isolantes). Comme l'illustrent certaines références bibliographiques en Fig. 1 et 2, le GaN HEMT à structure latérale présente une forte inhomogénéité dans la distribution de son champ électrique et de sa densité de courant, faisant apparaître des points chauds très localisés sources d'emballement thermique. L'empilement de couches hétérogènes GaN/Si₃N₄ (nitrure) et métal (plaques de champ) produit aussi des déformations différentielles aux interfaces qui sont sources de délamination aux angles voire de fissuration et dans certains cas même d'arrachement de matière. Seuls des outils puissants et poussés de type FEM sont à même de permettre d'analyser et de quantifier de tels mécanismes. Les connaissances ainsi engrangées permettent également de rétro-concevoir technologiquement le composant au niveau matériaux pour le rendre plus robuste sur stress intense unique ou sur stress modérés cyclés.

Fort d'une expérience conséquente et riche développée depuis 2020 sur MOSFET SiC^(*), nous proposons d'étendre cette thématique au GaN HEMT de puissance en appui sur une base de résultats expérimentaux conséquente [3] et en lien avec des travaux de thèse en cours sur de la simulation électrique TCAD Sentaurus [4]. L'objectif central du post-doc est de développer une famille de modèles multiphysiques au sein de l'environnement FEM Comsol 2D sur un composant à grille Schottky p-GaN 100V/90A/7mΩ dont l'analyse de construction et les données physiques principales sont connues [3]. Les objectifs visés se déclinent respectivement en : 1) élaborer un modèle temporel électro-thermique et métallurgique en couplage fort calé sur des résultats expérimentaux existants pour la plupart, 2) élaborer un modèle temporel thermo-mécanique en couplage faible alimenté par les résultats précédents, 3) élaborer un modèle de fissuration des couches isolantes (modèle énergétique de Rankine) et un modèle de décohésion d'interfaces (CZM). Une réflexion sur l'influence du couplage mécano-piézoélectrique est aussi envisagée tout comme l'influence d'une distribution de charges piégées dans la barrière AlGaN dessous les plaques de champ. Ces travaux doivent conduire à des corrélations pertinentes entre l'expérimentation (modes de dégradation) et la simulation (niveaux de contraintes physiques), puis permettre l'extraction des temps critiques et des densités d'énergie critiques sur stress intense et unique de court-circuit, donnant lieu à des synthèses et à la publication des résultats en conférences spécialisées de référence (ESREF pour l'Europe et IEEE IRPS pour l'impact mondial) ainsi qu'en revue spécialisé (IEEE et MER).



[3] Thèse de Lucien Ghizzo, Laplace – LAAS – THALES - CNES, 18 septembre 2024, <https://theses.fr/2024TLSEP061>

[4] Etude en régime extrême du modèle de simulation physique 2D d'un transistor de puissance p-GaN HEMT, Mémoire de PFE Master Recherche de Nora Essobai Meftah, 30 août 2024, LAAS-Laplace.

(*) à titre d'exemples et de références sur la méthodologie des travaux antérieurs menés sur MOSFET SiC, les sources suivantes peuvent être consultées :

<https://hal.science/hal-04074503v1>

https://hal.science/search/index/?q=mustafa+shqair&rows=30&sort=publicationDate_tdate+desc

2) Profil scientifique recherché

Nous recherchons un doctorant en fin de 3^{ème} année de thèse ou déjà Docteur de spécialité en physique – technologie des dispositifs semiconducteurs RF ou Puissance, matériaux et physique du solide appliqués aux composants électroniques, idéalement sur semiconducteur à grand gap GaN HEMT. Le candidat peut être de profil expérimentateur ou TCAD - FEM. Une expérience ou des compétences sur Comsol, TCAD Sentaurus ou Silvaco serait un plus. Curiosité, rigueur et forte motivation pour intégrer un projet de recherche à fort impact scientifique et de valorisation (publications et projets futurs).

SUJET DE THESE OUVERT

pour Septembre 2026 – Dates et Période Adaptables lors de l'Entretien

3) Lieu de travail, encadrement et informations pratiques

LAPLACE – site de l'ENSEEIH, équipe de recherche Convertisseurs Statiques.

Encadrants : Frédéric Richardeau – CNRS, UT, frederic.richardeau@laplace.univ-tlse.fr
et Emmanuel Sarraute, UT - Jean Jaurès, Toulouse INP, emmanuel.sarraute@laplace.univ-tlse.fr

Lien régulier avec la thèse de Nora Essobai Meftah en co-encadrement LAAS-LAPLACE avec David Trémouilles.

Rémunération du post-doctorat négociable en fonction de l'expérience acquise en thèse.

4) Modalités de recrutement

Etape 1 : envoi d'un CV détaillé et complet en 2 pages max avec les noms des référents scientifiques et des responsables de stages antérieurs (la lettre de motivation n'est pas obligatoire à ce stade).

Etape 2 : Pré-sélection et entretien (avec lettre de motivation).

—