



**HAL**  
open science

## **Etude de la fiabilité d'un amplificateur de puissance classe B à base de HEMT GaN, en bande S.**

Jean Baptiste Fonder, Farid Temcamani, Cédric Duperrier, Olivier Latry, Pascal Dherbécourt, Ludovic Lacheze, Michel Stanislawiak, Philippe Eudeline

► **To cite this version:**

Jean Baptiste Fonder, Farid Temcamani, Cédric Duperrier, Olivier Latry, Pascal Dherbécourt, et al.. Etude de la fiabilité d'un amplificateur de puissance classe B à base de HEMT GaN, en bande S.. 17èmes Journées Nationales Microondes, May 2011, Brest, France. pp.4C-2. hal-00671523

**HAL Id: hal-00671523**

**<https://hal.science/hal-00671523>**

Submitted on 17 Feb 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Etude de la fiabilité d'un amplificateur de puissance classe B à base de HEMT GaN, en bande S.

Jean Baptiste FONDER<sup>1</sup>, Farid TEMCAMANI<sup>1</sup>, Cédric DUPERRIER<sup>1</sup>, Olivier LATRY<sup>2</sup>, Pascal DHERBECOURT<sup>2</sup>, Ludovic LACHEZE<sup>2</sup>, Michel STANISLAWIAK<sup>3</sup>, Philippe EUDELIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire ETIS UMR 8051 CNRS, ENSEA, 6, Avenue du Ponceau 95000 Cergy-Pontoise

<sup>2</sup>Laboratoire GPM UMR 6634 CNRS, Université de Rouen, Avenue de l'Université - BP12  
76801 Saint Etienne du Rouvray

<sup>3</sup>THALES Air Systems, ZI du Mont Jarret, 76520 Boos

jean-baptiste.fonder@ensea.fr : correspondant principal

### Résumé

*Un amplificateur de puissance RF a été conçu en vue d'une étude de la fiabilité des transistors HEMT GaN. Architecturé autour d'un transistor NITRONEX NPTB00050, et fonctionnant en classe B, à la fréquence de 3GHz, cet amplificateur développe une puissance de 40W à 1dB de compression (10dB de gain en puissance). Un rendement en puissance ajoutée de 55% a été obtenu pour ce régime. Deux maquettes ont été éprouvées pendant 1280 heures sous 1dB de compression en régime RF pulsé à une température de semelle de 80°C. Aucune dégradation n'a été constatée parmi les grandeurs suivies (gain, rendement, transconductance, tension de pincement). Des études supplémentaires mettant en œuvre le transistor sous forte polarisation de drain à une température de châssis de 80°C sont en cours et tendent à montrer une évolution des caractéristiques statiques du transistor. Des analyses structurales par FIB et TEM des transistors dégradés seront entreprises afin de corrélérer les évolutions de ces caractéristiques avec des modifications physico-chimiques de la structure du transistor.*

### 1. Introduction

La technologie HEMT AlGaIn-GaN semble aujourd'hui adaptée aux applications de fortes puissances telles que l'amplification de puissance dans le domaine RF. Alliant les atouts des semi-conducteurs à large bande interdite, à forte tension de claquage et à bonne conductivité thermique (pour les substrats SiC), ces composants ont déjà montré des densités de puissance disponibles une décade au dessus des filières classiques (Si LDMOS, HBT AsGa) [1]. Ces plus fortes densités de puissance permettent une meilleure intégration, conférant aux technologies GaN un atout non-négligeable pour les applications de télécommunications, de RADAR ou encore d'imagerie médicale.

En raison de l'émergence récente de cette technologie, les questions de fiabilité sont d'importance

majeure. En effet, même si les performances brutes sont prometteuses, certains phénomènes physiques, responsables de dégradations des performances (réversibles ou non), sont toujours à l'étude [2]. L'industriel, et plus tard l'utilisateur final, doivent être assurés d'une fiabilité sans faille de l'équipement. C'est dans cette optique que s'inscrit cette étude.

Dans un premier temps, la conception d'un amplificateur de test sera détaillée ainsi que la réalisation des circuits d'adaptation d'impédance. Puis le protocole de vieillissement de deux amplificateurs identiques, et fonctionnant dans les mêmes conditions, sera décrit. Enfin, les résultats de cette première étude seront exposés et d'autres tests en cours, étayant l'étude, seront évoqués.

### 2. Conception et réalisation de l'amplificateur

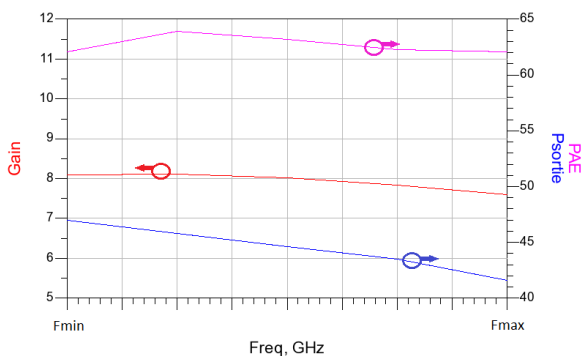
#### 2.a. Conception

Un tour d'horizon des HEMT AlGaIn/GaN, disponibles sur le marché a permis de dégager rapidement quelques candidats, parmi lesquels figure le NPTB00050 de NITRONEX, fabricant de transistors HEMT AlGaIn/GaN de forte puissance [3]. Il s'agit d'un transistor en boîtier céramique issu d'une filière GaN sur Silicium présentant un développement de grille d'environ 16.8mm. Il est spécifié pour un fonctionnement DC-4GHz et peut délivrer une puissance de 50W (47 dBm) à 3dB de compression, ce qui porte la densité de puissance à environ 3W par millimètre de grille.

Ce choix a été fortement motivé par la disponibilité d'un modèle électrique non linéaire de type « boîte noire », rendant ainsi possible l'utilisation de l'outil CAO pour la conception de l'amplificateur. Ce modèle ne permettant pas l'accès aux éléments intrinsèques du transistor, donc aux formes d'ondes, la classe de fonctionnement du transistor ne peut être connue avec

certitude. Le point de polarisation choisi justifiera, en partie, la classe de fonctionnement (A/B ou B).

Une démarche classique de Load Pull simulé a été mise en œuvre afin de déterminer les impédances de source et de charge optimales permettant d'obtenir une puissance de sortie maximale ainsi qu'un bon rendement en puissance ajoutée (PAE) dans une bande de fréquence représentant 20% de la bande S. Dans ces simulations, les impédances aux harmoniques ramenées dans les plans d'accès du transistor (boîtier) sont nulles. Quelques résultats du transistor chargé par ces impédances sont donnés en figure 1. Le point de fonctionnement adopté est  $V_{DS0}=28V$ ,  $I_{DS0}\approx 0mA$  sous régime RF CW avec faible courant de grille (fonctionnement à 3dB de compression). La température est de 25°C.



**Figure 1. Caractéristiques simulées de l'amplificateur pour Pentrée = 39dBm : Gain (dB), PAE (%), Psortie (W).**

Les réseaux d'adaptation d'impédance d'entrée et de sortie utilisent des éléments en constantes réparties afin de limiter au maximum l'impact des imperfections apportées par les capacités et inductances discrètes. Un réseau RC série en parallèle sur les tés de polarisation assure la stabilité de l'amplificateur. Une résistance de  $100\Omega$ , insérée en série avec le té de polarisation de grille. Le courant de grille est ainsi limité en cas de mise en conduction de la jonction grille-source lors de fortes excursions RF en entrée. Cette résistance participe aussi à la stabilisation de l'amplificateur.

Dans un premier temps, les circuits ont été simulés en utilisant des modèles électriques de lignes de transmission, puis la simulation électromagnétique de la structure a permis de s'assurer de la bonne valeur des impédances présentées aux accès du transistor.

### 2.b. Réalisation et mesure

L'amplificateur a été réalisé sur un substrat RF à base de céramique et PTFE (Rogers RT6010.2LM). Ce substrat, d'une épaisseur de 0.635mm présente une constante diélectrique  $\epsilon_r$  de 10.2 et un coefficient de perte  $\tan\delta$  de 0.0023 à 10GHz. La méthode de réalisation des circuits adoptée est la gravure par micro-fraisage. Il s'agit d'une méthode adaptée aux substrats non photo-présensibilisés. Les circuits sont ensuite brasés sur des bases en laiton afin de garantir une bonne évacuation de la chaleur, et reçoivent des connecteurs N. La figure 2 présente une photographie d'un amplificateur.



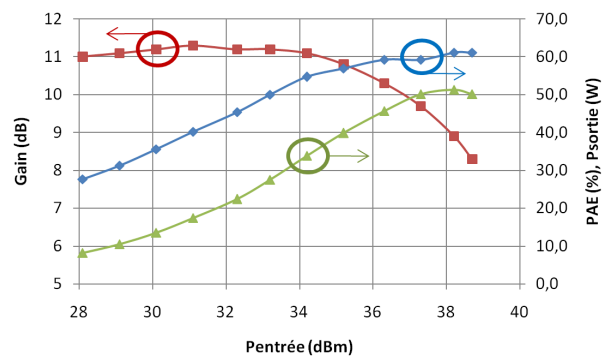
**Figure 2. Amplificateur de test.**

La mesure sur banc Load Pull des maquettes réalisées a montré que les impédances présentées à l'accès de drain permettent de satisfaire les critères recherchés. Cela confirme dans le même temps la bonne concordance entre modèle et composant réel, pour le design du circuit de sortie. Par ailleurs, ces contours Load Pull indiquent une adaptation d'entrée éloignée de l'optimum recherché, impactant le *Return Loss*.

Le micro-fraisage des circuits occasionne une légère ablation de substrat de l'ordre de 10 à 15% de l'épaisseur de diélectrique. Des simulations électromagnétiques de ce phénomène ont permis de constater une modification des impédances synthétisées. Cependant, ces simulations semblent indiquer que cette variation d'épaisseur de substrat n'a que peu d'influences sur les performances de l'amplificateur.

D'autre part, cette mauvaise adaptation de l'entrée du transistor se retrouve lorsque les impédances de source préconisées par le constructeur sont utilisées pour la simulation, ce qui pose la question sur la validité du modèle pour l'entrée du transistor aux fréquences de travail retenues. Des corrections sur les circuits d'adaptation ont donc été faites pour optimiser le fonctionnement de l'amplificateur à la fréquence de 3 GHz, fréquence choisie pour mener les tests de fiabilité.

Les caractéristiques en RF pulsée sont données en figure 3. Le transistor est polarisé sous  $V_{DS0}=28V$  et  $I_{DS0}\approx 0mA$  ( $V_{GS0} = -1.8V$ ), fonctionnement correspondant au fonctionnement nominal défini par le fabricant. La température de boîtier est de 25°C.



**Figure 3. Performances mesurées à 3GHz : Gain (rouge), PAE (bleu), Psortie (vert).**

Le tableau 1 compare les résultats obtenus en mesure et en simulation, en régime RF CW à 25°C avec faible courant de grille ( $\approx 3\text{dB}$  de compression). Outre le fait que les impédances de source ont du être ajustées à la réalisation, on observe une bonne concordance entre les performances issues du modèle et celles mesurées.

Pentrée = 39dBm	Mesures	Simulation
Ps sortie (W)	49	45.7
Gain (dB)	7.8	8.1
PAE (%)	55.4	63.8

Tableau 1. Comparaison Mesures et Simulation à 3GHz.

### 3. Etude de la fiabilité de l'amplificateur

L'étude a été menée sur le banc de fiabilité du Groupe de Physique des Matériaux (Université de Rouen) conçu pour éprouver jusqu'à 8 amplificateurs simultanément. Ce banc est composé d'une partie hyperfréquence de puissance distribuant le signal RF à chaque dispositif à tester, de modules thermiques indépendants à effet Peltier pour chaque voie permettant une régulation efficace de la température de châssis, ainsi que d'une partie contrôle/commande gérée par PC. Les caractéristiques physiques des amplificateurs telles que puissances d'entrée, de sortie, et courant de drain sont suivies et mémorisées tout au long de l'étude. Une photographie du banc, illustrant la partie RF où est inséré le dispositif sous test, est présentée en figure 4.

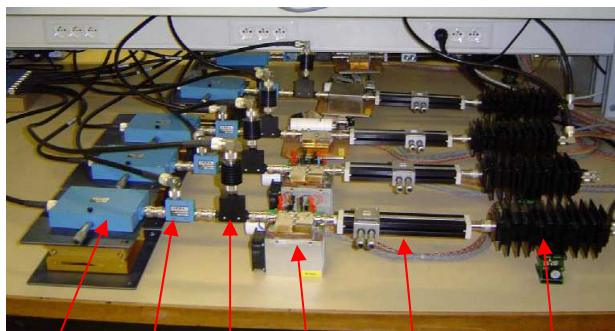


Figure 4. Branches de test du banc de vieillissement RF pulsé.

Deux amplificateurs identiques ont subi 1280 heures de fonctionnement dans les mêmes conditions, à savoir :

- $V_{DS0}=28\text{V}$  et  $I_{DS0}\approx 0\text{mA}$
- Température de châssis de 80°C
- Fréquence de travail de 3GHz
- Opération à 1dB de compression
- Régime RF pulsé

Le relevé des caractéristiques RF (gain et rendement en puissance ajoutée) à 80°C et en trois instants est donnée en figure 5. De la même manière, un relevé de la caractéristique de grille, duquel sont extraits la transconductance  $gm$  et la tension de pincement  $Vp$ , est montré en figure 6. Ce dernier relevé est effectué en DC sous une température de 80°C également.

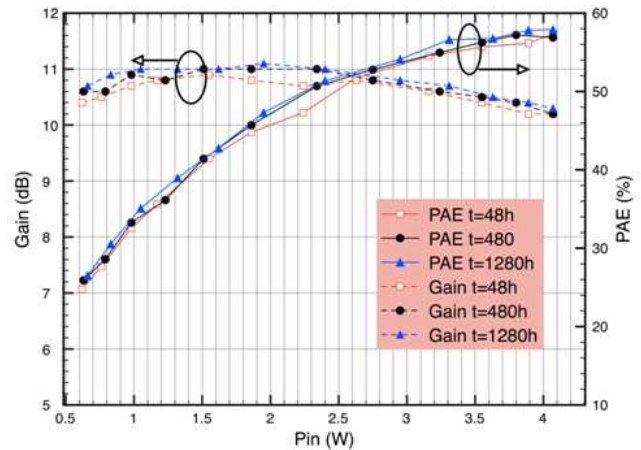


Figure 5. Caractéristiques RF pour 48h, 480h et 1280h.

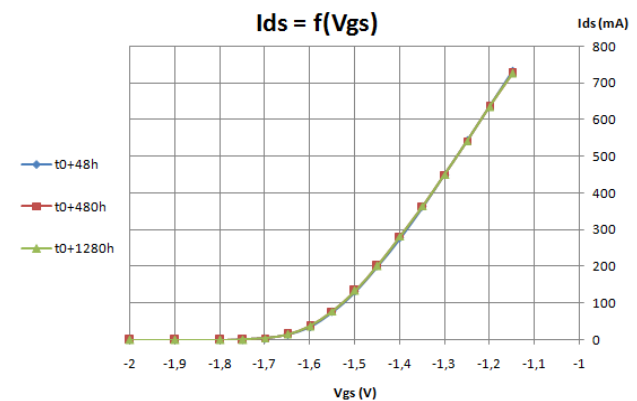


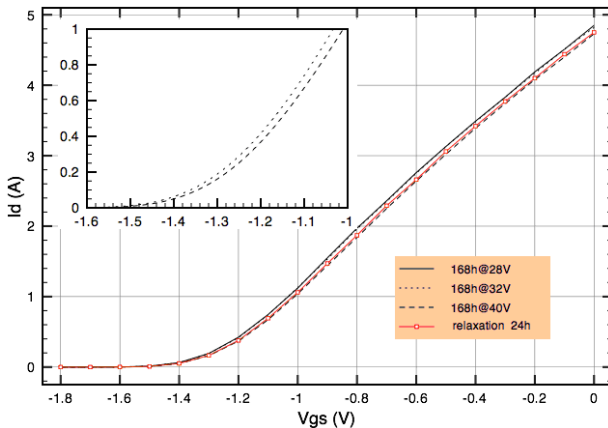
Figure 6. Caractéristique de grille pour 48h, 480h, 1280h ( $V_{DS}=28\text{V}$ ).

Sous ces conditions de fonctionnement, les deux amplificateurs n'ont montré aucune évolution des grandeurs RF mesurées, permettant de confirmer l'adéquation entre les applications d'amplifications de puissance et la technologie GaN. Cette tendance est corroborée par la stabilité des paramètres statiques du transistor ( $Vp$  et  $gm$ ). Ainsi, les phénomènes parasites propres à cette technologie (effets piézoélectriques [4], présence de nombreux pièges à électrons [5, 6]) n'ont pas d'influence significative sur sa fiabilité dans des conditions opérationnelles standards.



#### 4. Tests en cours et perspectives

Consécutivement à cette première étude, d'autres tests sont en cours et visent à estimer l'impact d'un fonctionnement RF pulsé sous tension de drain élevée. Des évolutions de  $V_p$  et  $gm$  ont d'ores et déjà été observées au cours de tests de 168 heures sous tensions de drain croissantes, comme le montre la figure 7 avec un décalage de la tension de pincement.



**Figure 7. Caractéristiques de grille après vieillissement à 28V, 32V, 40V et après 24h de relaxation ( $V_{DS}=15V$ ).**

Les contributions du niveau de puissance d'entrée (avec ou sans courant de grille) ainsi que de la température de châssis doivent aussi être étudiées. Ces tests seront également menés en régime RF pulsés afin de placer le transistor dans des conditions opérationnelles de type RADAR.

Les directions possibles à l'issue de ces tests de fiabilité sont multiples. La nature réversible des dégradations observées orientera les investigations du côté des phénomènes de pièges. Une analyse par photoémission des composants neufs puis éprouvés sera menée dans ce sens.

D'autre part, l'analyse FIB et TEM est envisagée afin d'appréhender les transformations structurales induites par les stresses (hautes températures, fort champs électriques, courants de grille) et de les relier ainsi à l'évolution des paramètres électriques. Ces dégradations physico-chimiques peuvent être de plusieurs natures : inter-diffusion des couches épitaxiales [7], décollement des couches de passivation [8], formation de craquelures à proximité de la grille [9] etc...

#### 5. Conclusion

Deux amplificateurs de puissances opérant en classe B et délivrant une puissance de 50W ont été conçus autour des transistors commerciaux NITRONEX NPTB00050. Ces amplificateurs ont subi 1280 heures de test en opération type RADAR à 80°C, sous RF pulsée à 3GHz et 1dB de compression au cours desquelles les caractéristiques RF et statiques des transistors sont

restées stables. Ces conditions correspondent à un fonctionnement de type standard.

Des études supplémentaires sous contraintes renforcées sont à l'étude et livrent leurs premiers résultats.

#### 6. Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier le Conseil Général du Val d'Oise ainsi que la Communauté d'Agglomération de Cergy Pontoise pour leur soutien au projet.

#### 7. Bibliographie

- [1] Y. F. Wu et al., "40-W/mm Double Field-plated GaN HEMTs", IEEE 64<sup>th</sup> Device Research Conference, 2006, State College, PA, USA, p. 151-152.
- [2] R. J. Trew, D. S. Green, J. B. Shealy, "AlGaIn/GaN HFET Reliability", IEEE Microwave Magazine, June 2009, p. 116-127.
- [3] R. Therrien et al., "A 36mm GaN-on-Si HFET Producing 368W at 60V with 70% Drain Efficiency", IEEE International Electron Devices Meeting, 2005 IEDM Technical Digest, December 2005, p. 568.
- [4] J.A. del Alamo, J. Joh "GaN HEMT reliability", 20th European Symposium on the Reliability of Electron Devices, Microelectronics Reliability Volume 49, Issues 9-11, September-November 2009, p. 1200-1206.
- [5] S. de Meyer et al., "Mechanism of Power Density Degradation due to Trapping Effects in AlGaIn/GaN HEMTs", IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, June 2003, p. 455.
- [6] S. C. Binari et al., "Trapping Effects in Wide-Bandgap Microwave FETs", IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Seattle, 2002, p.1823.
- [7] A. Alaeddine et al., "Degradation of Au-Ti contacts of SiGe HBTs during electromagnetic field stress", Semiconductor Science and Technology 26 025003, 2011.
- [8] M. Bouya et al., "Study of passivation defects by electroluminescence in AlGaIn/GaN HEMTs on SiC", Microelectronics Reliability, Volume 47, 2007, p.1630-1633.
- [9] S. Y. Park et al., "Physical degradation of GaN HEMT devices under high drain bias reliability testing", Microelectronics Reliability, Volume 49, 2009, 478-483.