



HAL
open science

L'effet de la température et de la tension sur des vieillissements HTRB et HTGB pour des HEMTs GaN de puissance

Omar Chihani, Loïc Théolier, Alain Bensoussan, Pierre Bondue, Jean-Yves Deletage, André Durier, Eric Woirgard

► To cite this version:

Omar Chihani, Loïc Théolier, Alain Bensoussan, Pierre Bondue, Jean-Yves Deletage, et al.. L'effet de la température et de la tension sur des vieillissements HTRB et HTGB pour des HEMTs GaN de puissance. Symposium de Génie Electrique, Université de Lorraine [UL], Jul 2018, Nancy, France. hal-02981877

HAL Id: hal-02981877

<https://hal.science/hal-02981877>

Submitted on 28 Oct 2020

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.

Effet de la température et de la tension sur des vieillissements HTRB et HTGB pour des HEMTs GaN de puissance

Omar Chihani^{1,2}, Loic Theolier¹, Alain Bensoussan², Pierre Bondue¹, Jean-Yves Delétage¹, André Durier², Eric Woïrgard¹

¹Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, IMS, UMR 5218, F-33400 Talence, France

²IRT Saint-Exupéry, 118 route de Narbonne, F-31432 Toulouse, France

RESUME - Des vieillissements par palier de type HTRB et HTGB ont été menés sur des transistors HEMTs de puissance en GaN. Des variations de tension ou de température ont été effectuées afin de mieux comprendre l'effet de chaque cofacteur de vieillissement. Les tests ont démontré l'apparition de différents modes de défaillance en fonction de la plage de température. Ce travail a été réalisé afin de caractériser et vérifier les plages sur lesquels différents mécanismes de défaillance peuvent être activés sur ce type de composants et sur quelles plages de températures ces mécanismes peuvent se superposer.

Mots-clés — AlGaIn/GaN HEMTs, Vieillissement par palier, mode de défaillance

1. INTRODUCTION

Les transistors HEMTs normally-off en GaN deviennent très attrayants pour les applications de puissance. Grâce au grand gap du GaN (3,4 eV), ces composants sont capables d'atteindre des températures d'utilisation de l'ordre de 500 °C [1] permettant ainsi de réduire la taille et le poids des systèmes de refroidissement dans les convertisseurs. En plus de cela, le champ électrique critique dans le GaN (3 MV/cm) permet la fabrication de composants avec des tensions de claquage supérieures à 1000 V. La fiabilité de ces composants a été étudiée dans différentes études [2]–[4]. Cependant, des études supplémentaires doivent être faites afin de mieux comprendre les mécanismes de défaillances, notamment pour les composants normally-off [5]. Dans cette étude, des transistors HEMTs industriels normally-off ont été soumis à des vieillissements par palier de type High Temperature Reverse Bias (HTRB) et High Temperature Gate Bias (HTGB). Des paliers en température ou en tension ont été utilisés afin de décorrélérer l'effet de chacun des accélérateurs de vieillissement.

2. PRESENTATION DU VEHICULE DE TEST ET DE LA PROCEDURE DE VIEILLISSEMENT

2.1. Véhicule de test

Le composant étudié dans cette étude est un transistor HEMT au nitrure de gallium à mode d'enrichissement de 200 V. Ce composant est caractérisé par une résistance à l'état passant typique de 50 mΩ et un courant de drain continu

maximal de 8,5 A. La grille de ce transistor est composée d'une couche de P-GaN (55 nm) sous une couche de TiN de 90 nm. La longueur de grille est de 0,48 μm et la distance entre drain et source est de 6,8 μm.

Le véhicule de test présenté sur la Fig. 1 est constitué d'une puce (transistor) brasée sur un PCB.

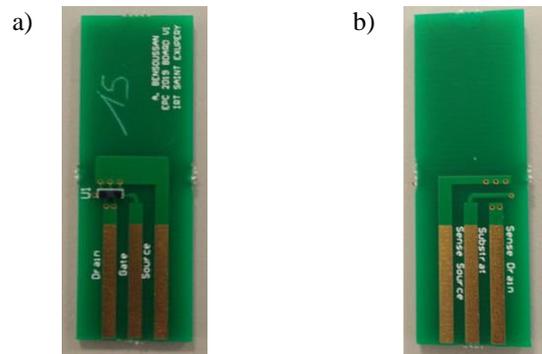


Fig. 1. a) vue de dessus b) vue de dessous du véhicule de test

Les matériaux utilisés pour la fabrication du véhicule de test ont été adaptés aux sollicitations thermiques envisagées pour les vieillissements. En effet, le substrat utilisé est le FR4 haut T_G . Il présente une température de transition vitreuse de 170 °C. En plus, le SAC305 a été utilisé comme brasure dans ce véhicule de test (VT), cet alliage est constitué de 96,5 % d'étain, 3 % d'argent et 0,5 % de cuivre. En outre, cette brasure est caractérisée par une température de fusion de 217 °C. Le véhicule de test est donc composé de matériaux résistant à la température et sera parfaitement adapté pour les vieillissements prévus dans cette étude.

2.2. Description des expériences

Cette étude a été basée sur l'application de vieillissements par palier de type HTRB et HTGB en termes de tension et de température. Les conditions de ces vieillissements sont présentées sur la Fig. 2 et la Fig. 3. Il est à noter que "T" signifie les paliers en température et "V" signifie les paliers en tension.

Durant le vieillissement par palier HTRB, la grille et la source étaient mises à la masse, la tension de drain variait de

50 V à 240 V pour le HTRB-V ou maintenue à 180 V pour le HTRB-T.

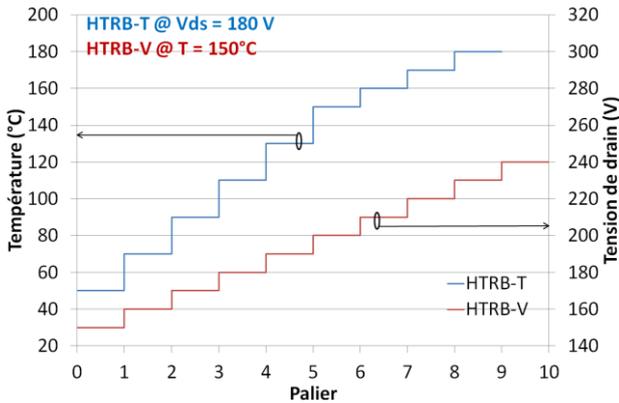


Fig. 2. Conditions des vieillissements par palier HTRB

Pour le vieillissement HTGB, le drain et la source étaient mis à la masse, la tension de grille variait de 1 V à 7 V pour le HTGB-V ou maintenue à 6 V pour le vieillissement HTGB-T.

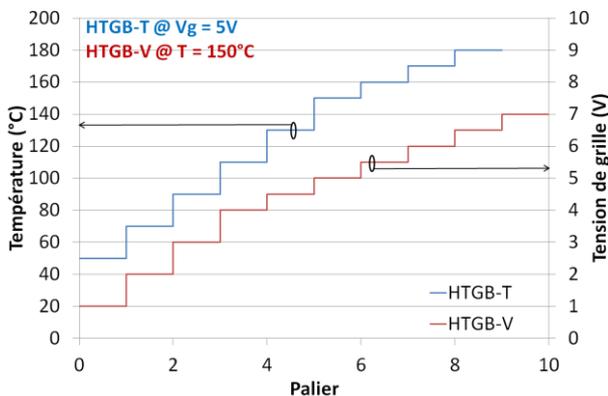


Fig. 3. Conditions des vieillissements par palier HTGB

Chaque palier durait 18 heures. Les composants étaient prélevés à la fin de chaque palier pour être caractérisés à température ambiante

2.3. Equipement et méthode de caractérisation

2.3.1. Equipement de caractérisation

Pour caractériser les composants à chaque sortie de vieillissement, le traceur keyseight B1505A a été utilisé. Ce traceur est un outil puissant pour la caractérisation des composants de puissance. Il a une gamme de courant allant jusqu'à 20 A et une gamme de tension allant jusqu'à 3000 V. Grâce à ce traceur, toutes les caractérisations indispensables à notre étude ont pu être menées. En plus, la capacité du traceur à effectuer des mesures en mode impulsif est très appréciable. En effet, en utilisant des mesures avec des impulsions assez courtes et un rapport cyclique faible, les composants auront le temps de se refroidir pendant les cycles de repos. Ce refroidissement permet donc aux composants de stabiliser leur température garantissant ainsi des caractéristiques ne souffrant pas de l'effet de l'auto-échauffement.

2.3.2. Méthode de caractérisation

Les caractéristiques électriques des composants HEMTs en GaN peuvent varier de plus de 20 % selon l'historique de polarisation de ces derniers [6]. En effet, les caractéristiques électriques dépendent grandement de l'état de charge des composants. La Fig. 4 représente l'évolution de la résistance à l'état passant d'un composant étudié après une polarisation à

haute tension du drain. Il apparaît clairement que la température accélère grandement le phénomène de dépiégeage. Ceci se traduit par un recouvrement plus rapide de la résistance à l'état passant.

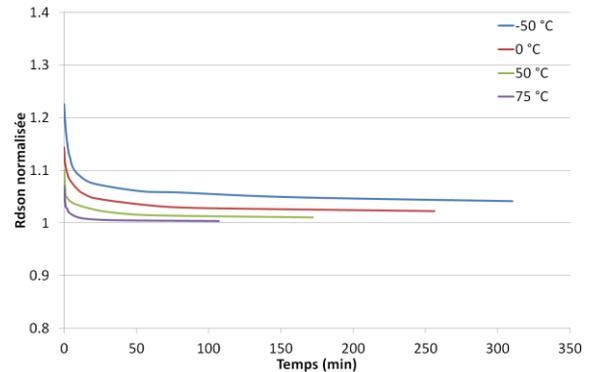


Fig. 4. Evolution de la résistance à l'état passant après une polarisation du drain à haute tension

Afin d'avoir des caractéristiques électriques fiables et reproductibles, une période de dépiégeage à haute température devait être appliquée sur les composants. Cette méthode consistait à maintenir les composants à 150 °C dans une étuve sans aucune polarisation pendant 30 mn. La procédure qui a donc été utilisée pour caractériser tous les composants est la suivante :

- Sortie des composants à la fin de chaque palier de vieillissement.
- Mettre les composants dans une étuve à 150 °C sans aucune polarisation pendant 30 minutes.
- Refroidir les composants à température ambiante pendant 30 minutes.
- Commencer la caractérisation par les mesures à faible tension de drain (R_{DSon} , V_{GSth} et I_{GSS})
- Terminer par la caractérisation faisant intervenir des hautes tensions de drain (I_{DSS}) afin d'éviter l'effet du piégeage que peut ramener la forte polarisation de drain.

Cette procédure nous a permis de récupérer des caractéristiques électriques fiables et reproductibles. Cette reproductibilité est obligatoire pour pouvoir suivre l'évolution des caractéristiques électriques durant un vieillissement. Dans ce cas, chaque dérive d'une des caractéristiques électriques d'un composant donné sera forcément causée par le vieillissement et non par la mesure.

2.4. Présentation du banc de vieillissement

Le banc de vieillissement qui a été utilisé durant l'étude est présenté sur la Fig. 5. Ce banc est divisé en deux parties. A gauche, une partie dédiée au vieillissement de type HTRB et la partie droite est, quant à elle, dédiée aux vieillissements de type HTGB. Quatre différentes étuves étaient utilisées afin de permettre la parallélisations de différents vieillissements. Différents véhicules de test ont donc été introduits à l'intérieur de chaque étuve. Ces derniers étaient polarisés par quatre différentes alimentations de tension (une pour chaque étuve). Les alimentations de tension étaient connectées aux véhicules de test grâce à une carte de protection comportant des fusibles. Cette méthode nous a permis d'éviter des courts-circuits dans le cas d'une défaillance de composant. Durant le vieillissement, des résistances de précision ont été utilisées pour permettre un suivi à temps réel des courants de fuites circulant dans les différents à travers les composants en cours de vieillissement. Les données récupérées sont enregistrées grâce à un acqui-

de données. Ce suivi continu des données nous permettra de connaître le moment exact de la défaillance d'un composant donné.



Fig. 5. Banc de vieillissement

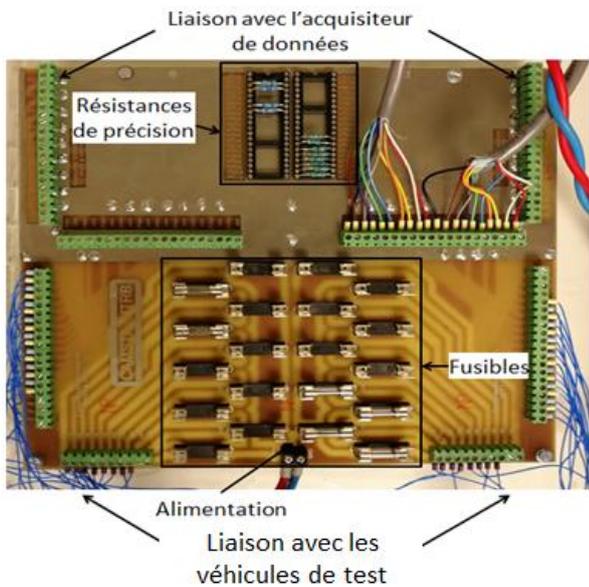


Fig. 6. Carte électronique utilisée pour connecter l'alimentation électrique et les véhicules de test

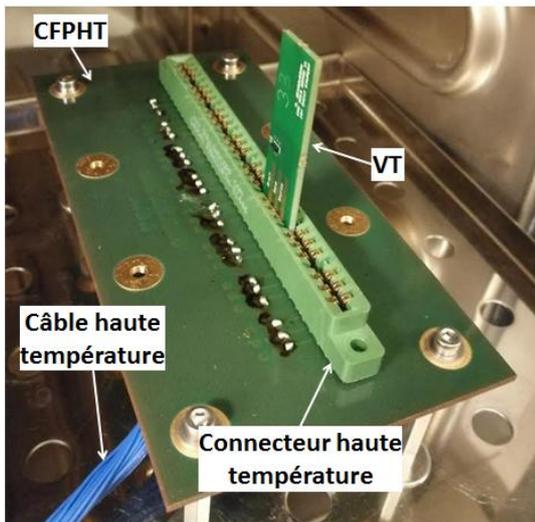


Fig. 7. Carte électronique permettant de connecter électriquement les véhicules de test

3. RESULTAT ET DISCUSSION

3.1. Step stress HTRB

3.1.1. HTRB-V

L'évolution des caractéristiques électriques des composants soumis à un vieillissement de type HTRB-V est présentée sur les Fig. 8 et Fig. 9. Ces mesures sont effectuées, à température ambiante, à chaque sortie de vieillissement. La Fig. 8 présente l'évolution de la résistance à l'état passant (calculée au point de polarisation : $V_{GS} = 5 \text{ V}$ et $I_D = 7 \text{ A}$) après chaque palier de vieillissement. La Fig. 9, quant à elle, met en évidence l'évolution typique d'une caractéristique de transfert d'un transistor (mesurée pour une tension $V_{DS} = 1,4 \text{ V}$) ayant subi un vieillissement de type HTRB-V. En analysant ces résultats, il apparaît clairement que le vieillissement de type HTRB-V a une influence sur la résistance à l'état passant et la transconductance sans avoir aucune influence sur la tension de seuil. En effet, si on s'intéresse à la Fig. 8, en prenant exemple sur le composant 1, sa résistance est passée de $43 \text{ m}\Omega$ à $53 \text{ m}\Omega$ ce qui représente une augmentation de 23 %. D'un autre côté, sachant que la tension de seuil est la tension de grille correspondant à un courant de drain de $1,5 \text{ mA}$, cette tension de seuil semble assez constante en se référant à la Fig. 9. La seule évolution visible est la transconductance qui décroît en fonction des paliers de vieillissement.

D'autres caractéristiques électriques telles que I_{GSS} et I_{DSS} ont été suivies sans noter aucune évolution.

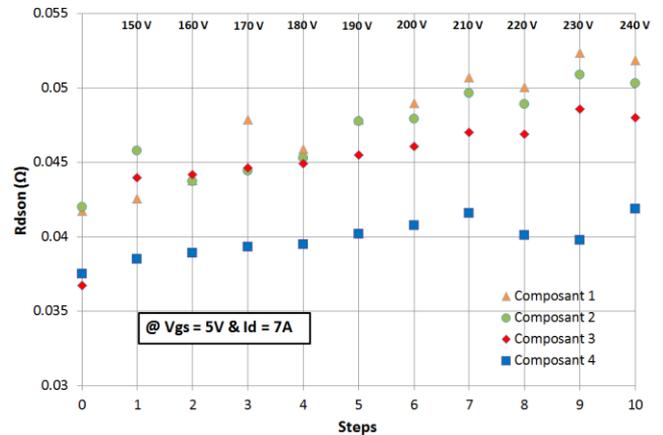


Fig. 8. Evolution de la R_{Dson} pendant le vieillissement par palier de type HTRB-V

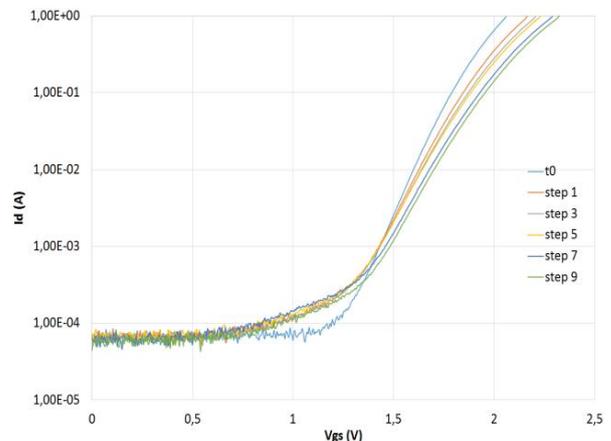


Fig. 9. Evolution typique d'une courbe de transfert pendant le vieillissement par palier de type HTRB-V

Les dégradations observées sur ce type de vieillissement peuvent être expliquées par la création de pièges additionnels menant à la réduction de la densité d'électrons [7].

3.1.2. HTRB-T

Les Fig. 10 et Fig. 11 montrent l'évolution des caractéristiques électriques durant le vieillissement HTRB-T. Ces caractéristiques ont été effectuées, à température ambiante, à la sortie de chaque palier de vieillissement. La Fig. 10 met en évidence l'évolution de la résistance à l'état passant de différents composants après chaque palier de vieillissement. La Fig. 11 montre une évolution typique de la caractéristique de transfert d'un composant, ayant subi un vieillissement HTRB-T après différents paliers de vieillissement. La Fig. 10 met en évidence l'augmentation de la résistance à l'état passant (26 % d'augmentation pour le composant 3). En analysant la Fig. 11, il apparaît clairement que la tension de seuil passe de 1,25 V à 1,45 V, ce qui correspond à une évolution de 15 %. La tension de seuil commence à croître à partir du septième palier qui correspond à 160 °C. Contrairement au vieillissement HTRB-V, ce type de vieillissement semble avoir aussi un impact sur la tension de seuil quand la température de vieillissement excède 150 °C.

D'autres caractéristiques électriques telles que l' I_{GSS} et l' I_{DSS} ont été suivies sans noter aucune évolution.

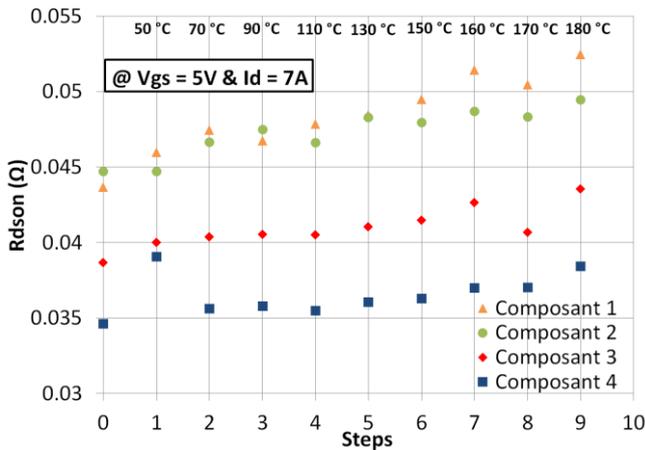


Fig. 10. Evolution de la $R_{D_{Son}}$ pendant le vieillissement par palier de type HTRB-T

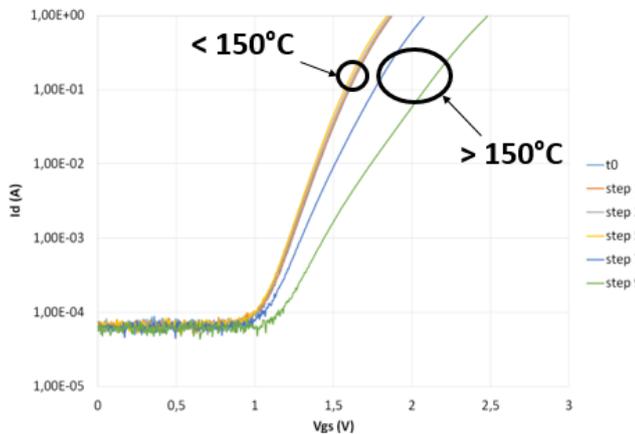


Fig. 11. Evolution typique d'une courbe de transfert pendant le vieillissement par palier de type HTRB-T

Les dégradations observées sur ce type de vieillissement pour des températures supérieures à 150 °C peuvent être justifiées par l'effet de la grille virtuelle. En effet, si des défauts sont créés à la surface, des charges négatives peuvent être présentes. Ceci a donc pour effet d'appauvrir le canal en électrons. Dans ce cas, les charges négatives agissent comme un métal de grille polarisé négativement expliquant ainsi l'augmentation de la tension de seuil [8].

3.1.3. Discussion

Ces deux types de vieillissements ont permis de différencier l'effet de la tension et de la température sur le vieillissement HTRB. En plus, cela a permis de démontrer l'existence de deux différents modes de défaillance. Un des modes de défaillance prédomine pour les températures inférieures à 150 °C et l'autre prédominant pour les températures supérieures à 150 °C.

En comparaison avec d'autres études menées sur le même type de composants en utilisant des vieillissements HTRB conventionnels, comme sur [2] et [9], ces études se sont focalisées sur seulement une température de vieillissement. Dans ce cas, il est impossible de distinguer l'effet de la tension et de la température sur le mode de défaillance activé.

3.2. HTGB

3.2.1. HTGB-V

L'évolution des caractéristiques électriques des composants soumis à un vieillissement par palier de type HTGB-V est présentée sur les Fig. 12 et Fig. 13. Ces caractéristiques ont été effectuées, à température ambiante, à la sortie de chaque palier de vieillissement. La Fig. 12 montre l'évolution d' I_{GSS} (mesuré au point de polarisation $V_{GS} = 6V$ et $V_{DS} = 0V$) après chaque palier de vieillissement pour différents composants. Sur cette figure, on peut constater que le courant de fuite de grille reste stable jusqu'au dixième palier de vieillissement. Après ce palier, le courant de fuite de grille augmente brutalement quand la tension de grille atteint une valeur critique (7 V pour le composant 2 et 7,5 V pour le composant 1). Sur la documentation technique, le fabricant fait référence à une tension de grille maximale de 6 V qui est très proche de la valeur critique. Cela implique que la commande de grille doit donc être appliquée de façon très prudente. Sur la Fig. 13, l'évolution de la tension de seuil (mesurée au point de polarisation $I_D = 1,5 mA$ et $V_{DS} = 1,4 V$) de deux différents composants après chaque palier de vieillissement est présentée. Il apparaît que cette tension peut fluctuer mais reste assez stable (10 % d'augmentation entre la valeur initiale et la valeur finale).

Le vieillissement HTGB-V a donc un grand impact sur le courant de fuite de grille. Ce dernier augmente brutalement quand la tension de grille atteint une valeur critique. Cependant, ce type de vieillissement n'a qu'un effet minime sur la tension de seuil.

D'autres caractéristiques électriques telles que l' I_{DSS} et le $R_{D_{Son}}$ ont été suivies sans noter aucune évolution.

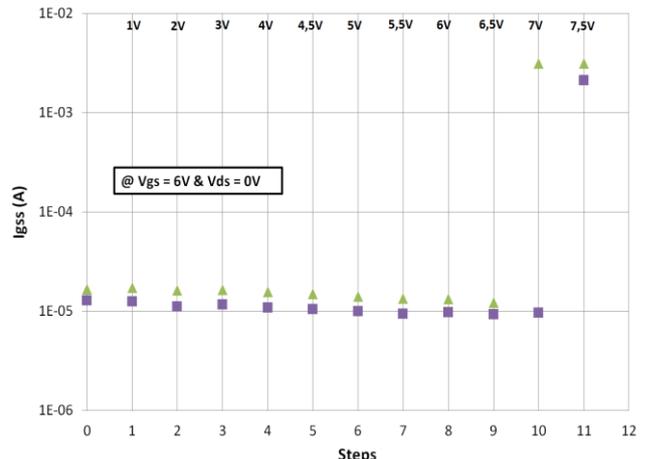


Fig. 12. Evolution d' I_{GSS} durant le vieillissement par palier de type HTGB-V

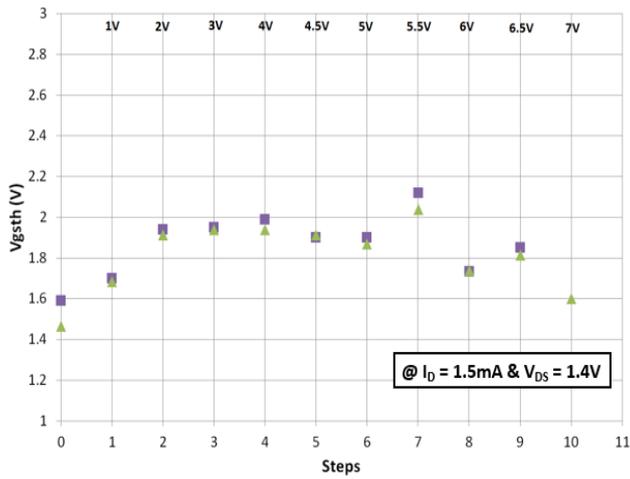


Fig. 13. Evolution de V_{GSth} durant le vieillissement par palier de type HTGB-V

3.2.2. HTGB-T

Les Fig. 14 et Fig. 15 présentent l'évolution des caractéristiques électriques de deux différents composants soumis à un vieillissement par palier de type HTGB-T. Ces caractéristiques ont été effectuées à température ambiante après chaque sortie de vieillissement. La Fig. 14 met en évidence le comportement d' I_{GSS} après chaque palier de vieillissement. Aucune évolution n'est remarquée pour le courant de fuite de grille durant ce type de vieillissement. La Fig. 15 montre l'évolution de la tension de seuil après chaque palier de vieillissement. Une grande augmentation est observée (de 1,22 V à 1,82 V pour le composant 2, ce qui représente une évolution de 50 %). Le vieillissement de type HTGB-T semble donc avoir un grand impact sur la tension de seuil. Cette évolution peut être expliquée par l'effet de la grille virtuelle.

D'autres caractéristiques électriques telles que l' I_{DSS} et le R_{DSon} ont été suivies sans noter aucune évolution.

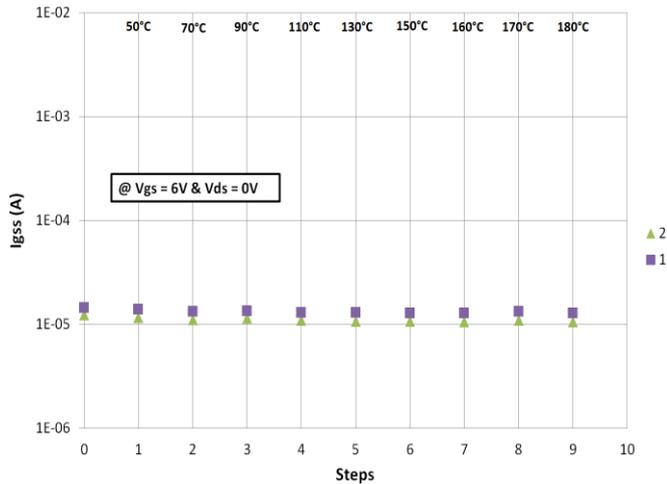


Fig. 14. Evolution d' I_{GSS} durant le vieillissement par palier de type HTGB-T

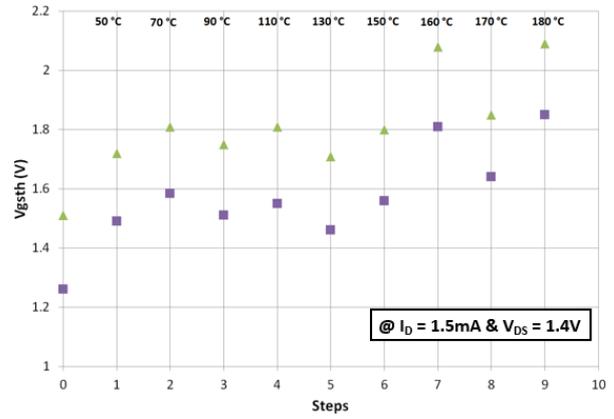


Fig. 15. Evolution de V_{GSth} durant le vieillissement par palier de type HTGB-T

3.2.3. Discussion

En se référant aux résultats obtenus, la tension de grille critique pour ce type de composant semble être 7 V. L'application d'une tension de grille supérieure à celle-là peut causer une augmentation brutale du courant de fuite de grille du composant.

On peut observer sur la Fig. 16, le suivi en temps réel du courant de fuite des deux composants soumis au vieillissement par palier de type HTGB-V durant le dixième palier. Les données étaient collectées toutes les cinq minutes. Il apparaît clairement que le courant de fuite de grille du composant 1 reste stable pendant toute la durée du palier. Cependant, une signature de défaillance apparaît clairement sur les relevés du composant 2 (augmentation du courant de fuite de plus d'une décade). Il est aussi observé que le relevé du courant de fuite de grille du composant 2 devient bruité après la défaillance. Ceci peut s'expliquer par la création de défauts supplémentaires. Cette particularité peut suggérer que le mécanisme responsable de la défaillance est en relation avec le fort champ électrique présent sur la couche p-GaN sous la grille. Ce fort champ électrique favoriserait donc la propagation des défauts [10].

Dans les vieillissements HTGB conventionnels pour ce type de composants, le seul mode de défaillance observé est l'augmentation brutale du courant de fuite de grille. Notre méthode nous permet de démontrer que le vieillissement HTGB peut créer des dégradations dans le composant qui mènent à une évolution des caractéristiques statiques, autres que le courant de fuite de grille. Le vieillissement HTGB peut donc créer des défauts de surface sur la grille, menant ainsi à une augmentation non négligeable de la tension de seuil.

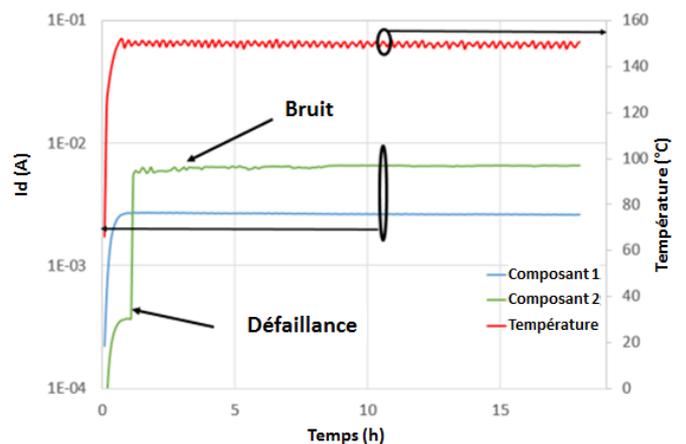


Fig. 16. Suivi à temps réel du courant de fuite de deux différents durant le dixième palier du vieillissement HTGB-V

4. CONCLUSIONS

Cette étude consistait à mettre en place des vieillissements par palier de type HTRB et HTGB et de déterminer les signatures électriques à suivre lors des vieillissements calendaires. Des paliers de tension et de température ont été appliqués afin de nous permettre de différencier l'effet de chacun des facteurs de stress.

Grâce à ces résultats, il a été possible de séparer l'effet de la tension et de la température sur les vieillissements de type HTRB et HTGB. Il a été démontré que les hautes températures (supérieures à 150 °C) peuvent créer des défauts de surface menant ainsi à une dérive de quelques caractéristiques électriques (telles que la tension de seuil) des composants vieillis. L'existence de deux différents modes de défaillance pour ces types de vieillissements a aussi été démontrée. En effet, l'activation d'un de ces modes de défaillance dépend de la gamme de température de vieillissement à laquelle le composant est soumis. Cette étude préliminaire a été menée en prévision d'une campagne de vieillissement à température et à tension constantes. Ceci nous a donc permis de déterminer les éventuelles limites d'utilisation des composants ainsi que le modes de défaillances propres à chaque type de vieillissement. Ce travail nous permettra donc de choisir judicieusement les conditions de vieillissement à appliquer ainsi que les caractéristiques électriques à suivre avec attention.

5. REMERCIEMENTS

Ce travail est soutenu par le projet IRT Saint-Exupéry Robustesse Electronique sponsorisé par Airbus Operations, Airbus Group Innovations, Continental Automotive France, Hirex Engineering, Nexio, Safran Electrical & Power, Thales Alenia Space France, Thales Avionics et l'Agence Nationale de la Recherche. (ANR).

[1] K.-A. Son *et al.*, "GaN-based high-temperature and radiation-hard electronics for harsh environments," 2010, p. 76790U.

- [2] L. RuGuan, W. YuanSheng, Z. Chang, L. XueYang, L. Ping, and H. Yun, "Impact of high temperature reverse bias (HTRB) stress on the degradation of AlGaIn/GaN HEMTs," in *2014 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits*, 2014, pp. 1–2.
- [3] S. Y. Park *et al.*, "Physical degradation of GaN HEMT devices under high drain bias reliability testing," *Microelectron. Reliab.*, vol. 49, no. 5, pp. 478–483, May 2009.
- [4] E. Zanoni *et al.*, "A review of failure modes and mechanisms of GaN-based HEMTs," in *2007 IEEE International Electron Devices Meeting*, 2007, pp. 381–384.
- [5] M. Meneghini, O. Hilt, J. Wuerfl, and G. Meneghesso, "Technology and Reliability of Normally-Off GaN HEMTs with p-Type Gate," *Energies*, vol. 10, p. 153, Jan. 2017.
- [6] B. Paine, C. R. Ignacio, and S. R. Polmanter, "DC Characterization of GaN HEMTs with Slow Traps," 2015.
- [7] J. Joh and J. A. del Alamo, "Mechanisms for Electrical Degradation of GaN High-Electron Mobility Transistors," in *2006 International Electron Devices Meeting*, 2006, pp. 1–4.
- [8] R. Vetury, N. Q. Zhang, S. Keller, and U. K. Mishra, "The impact of surface states on the DC and RF characteristics of AlGaIn/GaN HFETs," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 48, no. 3, pp. 560–566, Mar. 2001.
- [9] L. XueYang *et al.*, "Investigation of high-temperature-reverse-bias (HTRB) degradation on AlGaIn/GaN HEMTs," in *2014 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits*, 2014, pp. 1–2.
- [10] M. Meneghini *et al.*, "Gate Stability of GaN-Based HEMTs with P-Type Gate," *Electronics*, vol. 5, no. 2, p. 14, Mar. 2016.