



## Tech Hour

Le rendez-vous mensuel  
des technologies et procédés innovants

**Projet SiC-ageing :**  
Caractérisation des modifications électriques et  
mécaniques locales de la puce SiC après "ageing"

**Laboratoires CRISMAT & GPM**  
Le mardi 28 mai 2024



## TECH HOUR FORMAT & DÉROULÉ

### ≡ Agenda du Tech Hour – 12h30 à 13h30:

- ≡ Introduction
- ≡ Présentation de la technologie et de ses avancées
- ≡ Présentations d'applications



### ≡ Format et règles de fonctionnement :

- ≡ Le Tech Hour se déroule via l'outil de **web-conférence Microsoft TEAMS**,
- ≡ Les **micros seront coupés** pendant la présentation (*environ 45 min*), 
- ≡ Vous pouvez poser vos questions par « **chat** », à l'attention de l'organisateur, 
- ≡ Il n'y a pas de nécessité de connecter sa webcam



## TECH HOUR ORGANISATEURS



**Normandie AeroEspace (NAE)**, la filière d'excellence en Normandie dans l'aéronautique, le spatial, la défense et la sécurité.

**ASTech Paris Region**, pôle de compétitivité dans le domaine de l'aéronautique, de l'espace et de la défense.

Pôle de compétitivité européen, **NextMove** rassemble en Normandie et Île-de-France, la « Mobility valley » française, toutes les énergies de l'écosystème Automobile et Mobilités

Filière d'excellence, **Normandie Energies** soutient le développement économique du territoire en fédérant plus de 240 acteurs normands de l'énergie.

Ancré dans la Région Hauts-de-France, **i-TRANS** est le pôle de compétitivité des mobilités décarbonées et connectées, dans les domaines du ferroviaire, de l'automobile, de la mobilité et du fret.

**Normandie Maritime**, la filière d'excellence en Normandie du maritime et du fluvial.

Filière d'excellence, **Logistique Seine-Normandie (LSN)** fédère 185 adhérents : des entreprises du transport et de la logistique et des acteurs économiques de Normandie.

**ACSIEL Alliance Electronique** est l'organisation professionnelle des acteurs industriels de la chaîne de valeur de la filière électronique en France.

Basé à Lille, le **Pôle MEDEE** est un cluster qui fédère et anime une communauté d'acteurs spécialisés en génie électrique.



3



## LE CENTRE FRANÇAIS DE FIABILITÉ [CFF]

Le regroupement d'experts de la fiabilité des systèmes et des composants électroniques



### Contexte :

- Intégration de plus en plus forte des systèmes
- Montée en puissance des composants de puissance
- La mise sur le marché de composants électroniques très intégrés
- L'accroissement de la complexité des systèmes électroniques embarqués



### Objectifs

La vocation du **Centre Français de Fiabilité [CFF]** est de réunir des experts des **Composants et des Systèmes Electroniques Embarqués** pour aider les industriels à améliorer leurs produits ou services.

**Périmètre** : Tous les secteurs sont concernés par des problèmes de fiabilité très sérieux : **automobile, aéronautique, ferroviaire, naval, défense, énergie, ...**

Sous l'impulsion des pôles et filières de compétitivité (ASTech Paris Région, NAE et Nextmove) et de l'Institut de Recherche Technologique (IRT) Saint-Exupéry de Toulouse, le **CFF est destiné à créer une synergie entre les universitaires, les laboratoires, les PME/PMI et les industries autour de la fiabilité des Composants et des Systèmes Electroniques**. Le CFF vient compléter une brique de la Sûreté de Fonctionnement des systèmes.

[Brochure des acteurs du CFF](#)

[Cartographie d'acteurs du CFF](#)



### Temps Forts



Rejoignez la communauté CFF

Notre compte LinkedIn :

[LinkedIn | Centre Francais de Fiabilite](#)

Notre site internet :

[www.cff-fiabilite.fr](http://www.cff-fiabilite.fr)

Notre adresse email :

[cff@nae.fr](mailto:cff@nae.fr)



4





## TECH HOUR SUJET DU JOUR

mardi 28 mai 2024

**Projet SiC-ageing :**  
**Caractérisation des modifications électriques et mécaniques locales de la puce SiC après "ageing"**

**Le Tech Hour  
du jour**

L'intervention sera réalisée par :

**Rosine COQ-GERMANICUS – Laboratoire CRISMAT**  
Université de Caen  
**Pascal DHERBECOURT – Laboratoire GPM**  
Université de Rouen

Le projet SiC-ageing a pour objectif de déterminer les modifications électriques et mécaniques locales des composants de puissance en carbure de silicium (SiC) ayant subi des tests de vieillissements accélérés (ageing).

SiC-ageing s'inscrit dans le cadre de la transition énergétique dont une des voies importantes est la meilleure gestion de l'énergie électrique, notamment par la prévention et la prédiction des défaillances lors du fonctionnement du composant SiC.



6



## SIC-AGEING



ENERGIE ET SYSTÈMES DE PROPULSION

Caractérisation des modifications électriques et mécaniques locales de la puce SiC après "ageing"  
**(2022-2025)**



*Rosine Coq Germanicus (PR) CRISMAT UMR 6508*

*Pascal Dherbécourt (PR) GPM UMR CNRS 6634*



Vers une meilleure efficacité des systèmes énergétiques et de propulsion



7



# OBJECTIF LA NEUTRALITÉ CARBONE



2015



## Le Monde

### L'Union européenne acte la fin des moteurs thermiques en 2035

L'accord prévoit l'interdiction de facto des ventes de voitures et véhicules utilitaires légers neufs à essence et diesel, ainsi que des hybrides d'ici à 2035. Il s'agit du premier accord sur un texte du paquet climat européen.

2022

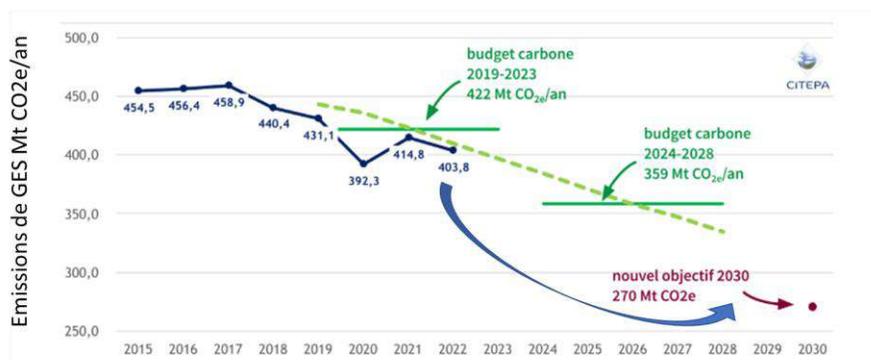


Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

8



# OBJECTIF LA NEUTRALITÉ CARBONE



D'ici 2030, réussir à réduire de 2/3, davantage qu'en 7 ans que ce que nous avons fait ces dernières années

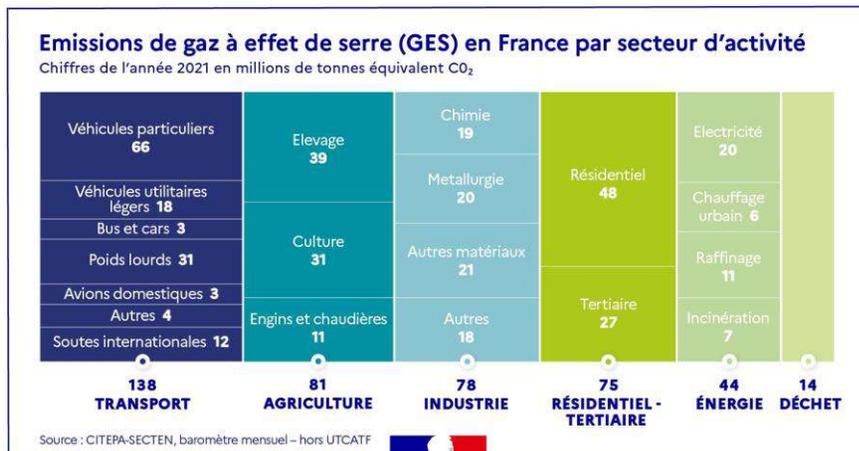


Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

9



## OBJECTIF LA NEUTRALITÉ CARBONE : LES SOURCES

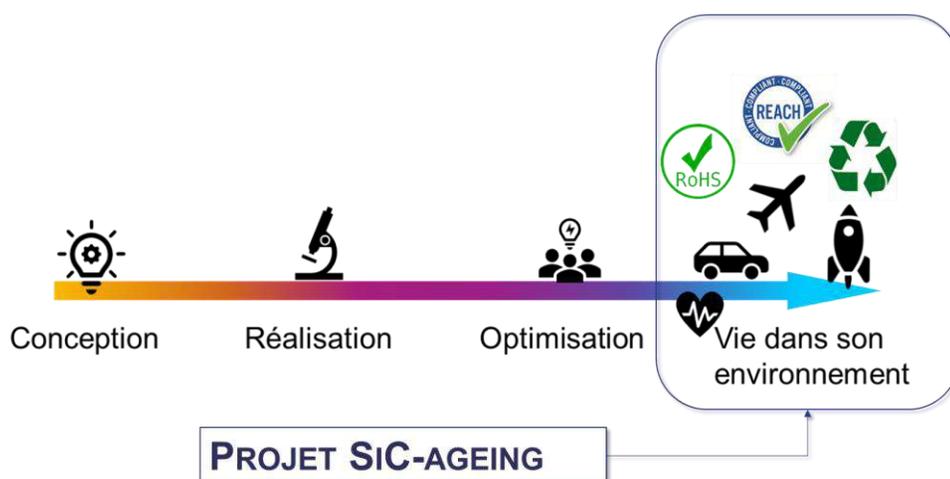


Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

10



## CONTEXTE DE SIC-AGEING



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

11



## AGENDA



- I. Le composant SiC dans son environnement
- II. Composant COTS étudié
- III. Caractérisations électriques du composant
- IV. Impact des ESDs
- V. Préparation de l'échantillon pour la FA
- VI. Impact des irradiations : SEB
- VII. Conclusion et Perspectives



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

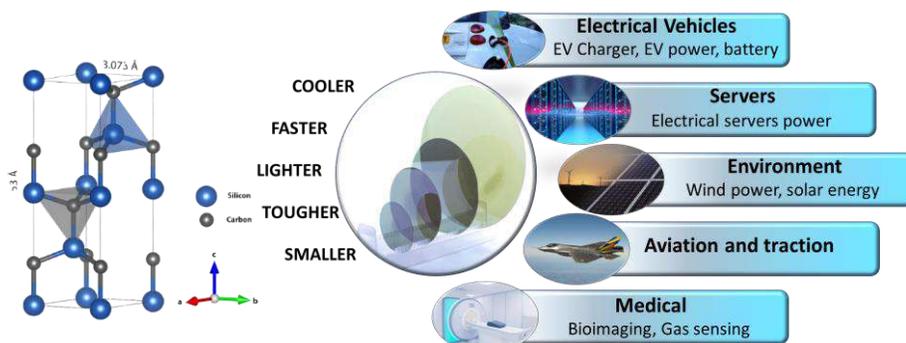
12



## LES CAPACITÉS DU SiC



Le carbure de Silicium SiC est aujourd'hui une technologie mature et un socle pour la transition énergétique

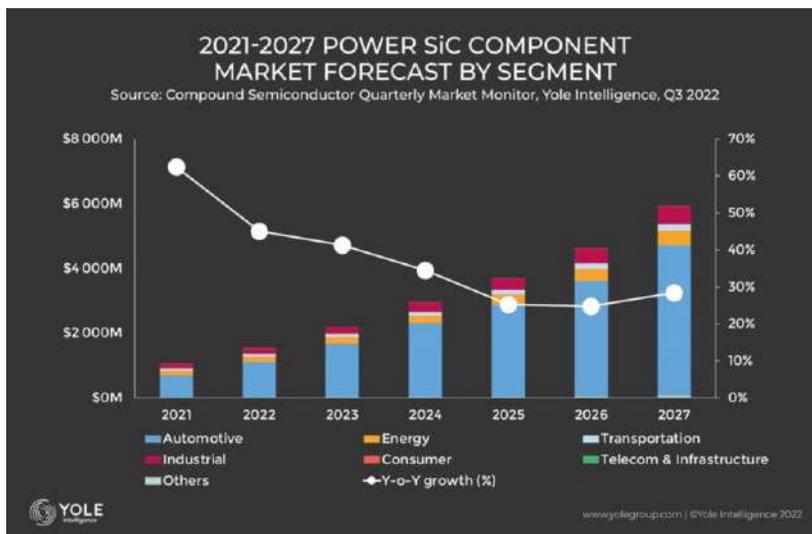


Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

13



# LE MARCHÉ DU SiC



# LE SiC POUR LES EVs

## DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicles, Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Fast Charging Stations: State of the Art and Future Trends

by Tajib Chakraborty<sup>1,2</sup>, Hai-Nam Vu<sup>1,2</sup>, Mohammed Mahedi Hasan<sup>1,2</sup>, Dai Duong Tran<sup>1,2</sup>, Mohamed El Baghdadi<sup>1,2</sup> and Omer Hegazy<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ETEC Department & MOER Research Group, Vrije Universiteit Brussel (VUB), Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium

<sup>2</sup> Flanders Make, 3001 Heverlee, Belgium

\* Author to whom correspondence should be addressed.

Energies 2019, 12(8), 1569; https://doi.org/10.3390/en12081569

70 % de la demande de composants SiC provient de l'industrie Evs

SiC device : 2022 revenue and market share

Produce both wafers and devices

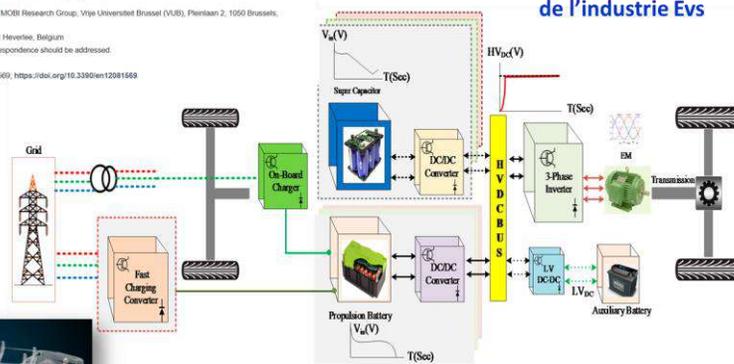
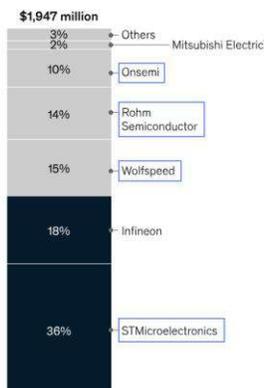
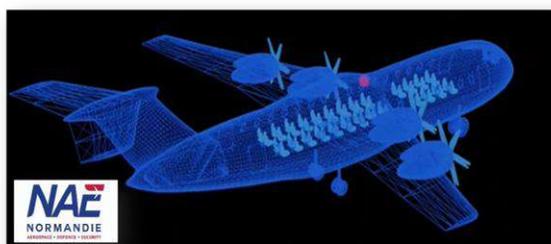


Diagramme du groupe moteur à propulsion d'un VE

## LE SiC POUR L'AÉRONAUTIQUE



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

16



## MÉTHODOLOGIE ET ÉVALUATION DES RISQUES



### SiC-AGEING : LA SYNERGIE CRISMAT-GPM



1

- Défaillance ESD et SEB neutronique ou protonique
- Caractérisations électriques du composant défaillant



2

- Préparation de l'échantillon pour analyser la zone active
- Localisation du défaut au niveau de la matériaux SiC



3

- Mesures locales des propriétés par SEM, EBIC, AFM ...
- Complémentarité des mesures pour comprendre les mécanismes de défaillances



### RISQUES- ACTIONS

- Définir la sensibilité vis-à-vis du ESD et SEB
- Mettre en évidence la signature au niveau des mesures électriques.
- Définir le process pour chaque techno.
- Reproduire la méthode d'analyse sur plusieurs échantillons.
- Optimiser la méthode pour la techno
- Mettre en évidence la complémentarité des analyses.

**Identifier et proposer les sources d'amélioration de la technologie du composant**



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

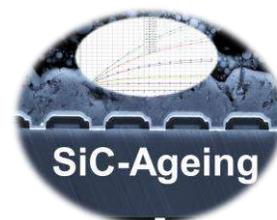
17



# AGENDA



- I. Le composant SiC dans son environnement
- II. Composant COTS étudié



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

18



## CHOIX DU COMPOSANT COTS : C3M0350120D



C3M0350120D

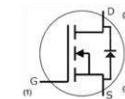
Silicon Carbide Power MOSFET C3M™ MOSFET Technology  
N-Channel Enhancement Mode

**Features**

- C3M™ Silicon Carbide (SiC) MOSFET technology
- High blocking voltage with low Dr-resistance
- High speed switching with low capacitances
- Fast intrinsic diode with low reverse recovery (Q<sub>r</sub>)
- Inhalogen free, RoHS compliant



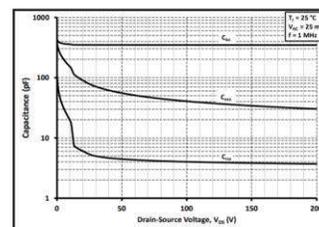
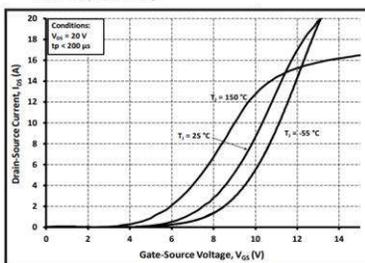
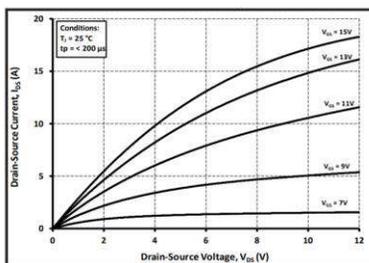
$V_{DS}$	1200 V
$I_D @ 25^\circ\text{C}$	7.6 A
$R_{DS(on)}$	350 mΩ



**Applications**

- Renewable energy
- High voltage DC/DC converters
- Switch Mode Power Supplies
- UPS

Power SiCMOSFETs  
En boîtier TO-247-3  
(3<sup>rd</sup> generation)



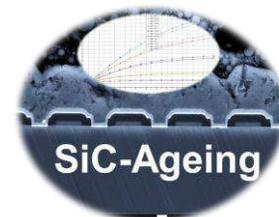
Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

19



## AGENDA

- I. Le composant SiC dans son environnement
- II. Composant COTS étudié
- III. Caractérisations électriques du composant :
  - a) Mesures IV athermiques
  - b) Détermination de la tension de seuil  $V_{th}$
  - c) Mesures des courants de fuites de grille et de drain
  - d) Mesures des capacités C-V



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

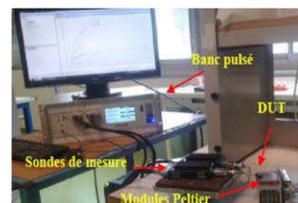
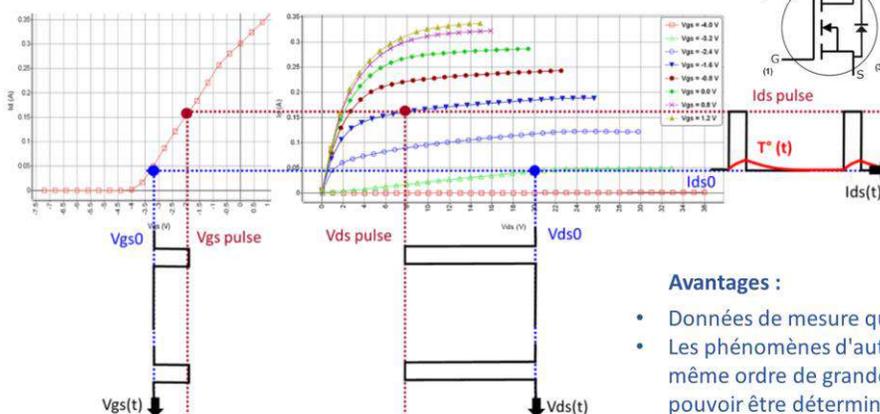
20



## CARACTÉRISATIONS ÉLECTRIQUES : MESURES IV ATHERMIQUES

**Principe :** Éviter l'auto-échauffement du DUT par des pulses suffisamment courts

Polarisation  $V_{gs}$  et  $V_{ds}$  et mesure des courants dans le pulse



Banc de mesures IV pulsées

### Avantages :

- Données de mesure quasi-isothermiques.
- Les phénomènes d'auto-échauffement et de piégeage ont le même ordre de grandeur en constantes de temps, doivent pouvoir être déterminées séparément.
- Pouvoir extraire avec précisions certains paramètres  $\phi$

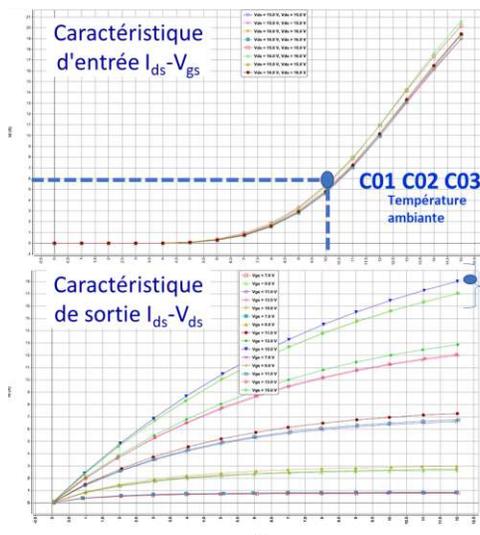


Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

21



## MESURES IV ATHERMIQUES



### Composant Vs datasheet :

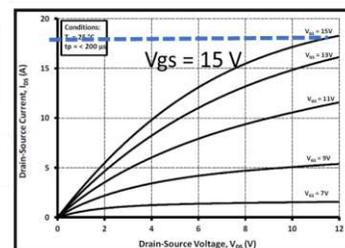
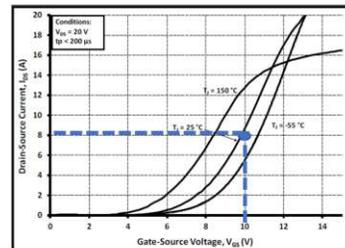
- Disparité des mesures/
- Nécessité de caractériser chaque DUT

Disparité des mesures entre 3 composants

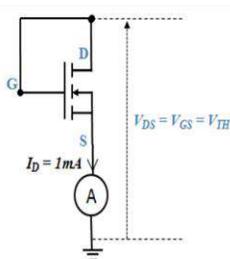
Paramètres physiques Vs caractéristiques électriques

$$R_{CH} = \frac{L_{CH}}{W(\mu_n C_{ox}(V_{gs} - V_{th}))}$$

$$I_{dsat} = \mu_n C_{ox} (W/2L_{CH})(V_{dsat}^2)$$



## MESURES DE LA TENSION DE SEUIL Vth



	Vth mesuré	Vth data sheet		
		Min 1,8 V	Typ 2,5V	Max 3,6 V
C01	3,36 V			
C02	3,14 V	Ids = 1mA		
C03	3,38 V			

V<sub>th</sub> : Entrée du MOSFET en conduction.

V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	1.8	2.5	3.6	V	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 1 mA
			2.0		V	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 1 mA, T <sub>J</sub> = 150°C

Mesures effectuées à température ambiante

$$V_{th} = \frac{\sqrt{4\epsilon_{SiC} k T_j N_A \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}}{C_{ox}} + \frac{2kT_j}{q} \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right) - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}}$$

- $\epsilon_{SiC}$  est la permittivité relative du semi-conducteur
- $n_i$  est la concentration de porteurs intrinsèques
- $k$  est la constante de Boltzmann

La tension de seuil dépend de la température et de certains paramètres physiques qui caractérisent la structure du MOSFET tels que : la nature du matériau de la grille, l'épaisseur de la couche d'oxyde tox, et la concentration de dopage du substrat  $N_A$ .

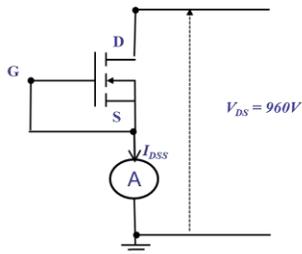


## MESURES DES COURANTS DE FUITES DE GRILLE ET DE DRAIN



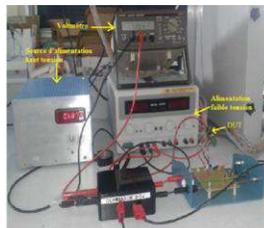
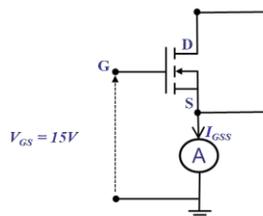
• Indicateur  $I_{DSS}$

Conditions de mesure :  
 $V_{DS} = 960V$ ,  $V_{GS} = 0V$



• Indicateur  $I_{GSS}$

Conditions de mesure :  
 $V_{DS} = 0V$ ,  $V_{GS} = 15V$



L'analyse de  $I_{DSS}$  permet d'évaluer la capacité de blocage du composant.

Génération 3 MOSFET SiC  $I_{DSS}$  plus faible Vs G2 et G1  
 $I_{GSS}$  traduit la qualité du contact de grille et du processus de fabrication d'oxyde de grille.

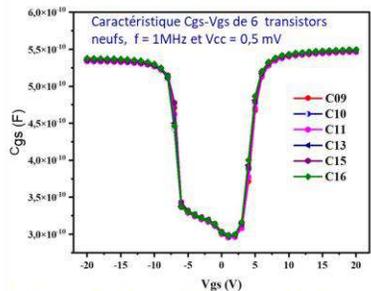
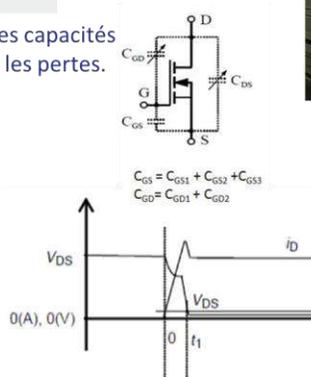
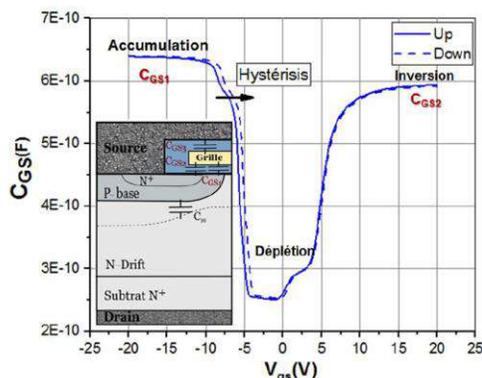
$I_{DSS}$	Zero Gate Voltage Drain Current		1	50	$\mu A$	$V_{DS} = 1200 V, V_{GS} = 0 V$
$I_{GSS}$	Gate-Source Leakage Current		10	250	nA	$V_{GS} = 15 V, V_{DS} = 0 V$

Les mesures effectuées sur des composants neufs donnent des valeurs très inférieures aux valeurs datasheet



## CAPACITÉS C-V

Les avancées technologiques tendant à diminuer les capacités afin de réduire les temps de commutation et donc les pertes.



Les mesures de capacités sont effectuées à une fréquence de 1 MHz, avec une plage de tension  $V_{GS}$  allant de -20V à 20V dans deux sens (up et down) → Effet hystérésis dû aux charges d'oxyde.

Capacités de la structure interne du composant : influence le comportement dynamique du transistor.

La mesure des caractéristiques Capacité – Tension est un indicateur important de la dégradation du composant



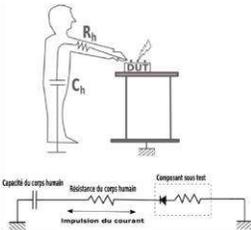
# AGENDA



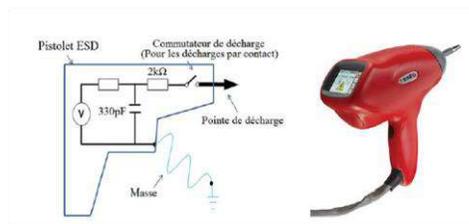
- I. Le composant SiC dans son environnement
- II. Composant COTS étudié
- III. Caractérisations électriques du composant
- IV. Impact des ESDs



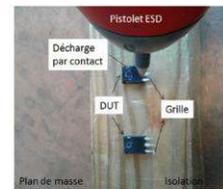
# DÉCHARGES ESD : TRANSFERT RAPIDE DE CHARGES



Circuit équivalent d'une décharge de type HBM



Circuit de base d'un pistolet ESD selon la norme " SAE J 1113/13" (Décharge par contact)

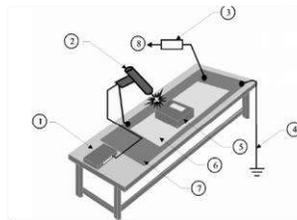


### Reproduire les stress ESD

- ESD au cours du montage.
- ESD causées par le personnel d'entretien.
- ESD causées par les occupants.

### Identifier les mécanismes de défaillance :

- Filamentation, matériau SiC.
- Claquage d'oxyde,
- Injection de porteurs,
- Rupture des bondings en (Al, Au)



SAE INTERNATIONAL	SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE	J1113/13	FEB2015
		Issued 1995-02	Revised 2015-02
		Supersedes J1113-13 JUN2011	
Electromagnetic Compatibility Measurement Procedure for Vehicle Components - Part 13: Immunity to Electrostatic Discharge			

TABLE 1—ESD TEST SEQUENCE AND VOLTAGE LEVELS

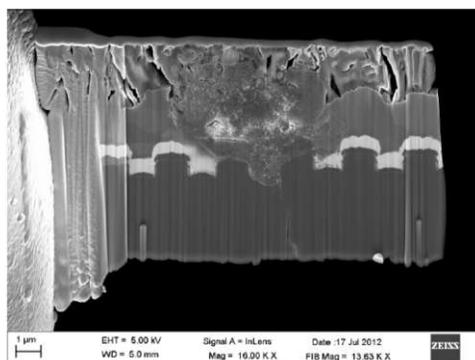
Test Sequence	Type of Discharge	Test Voltage Level	Minimum number of discharges at each polarity
1	Contact Discharge	±4 kV	3
2	Contact Discharge	±8 kV	3
3	Air Discharge	±8 kV	3
4	Contact Discharge	±8 kV	3
5	Air Discharge	±15 kV	3
6	Air Discharge	±25 kV	3



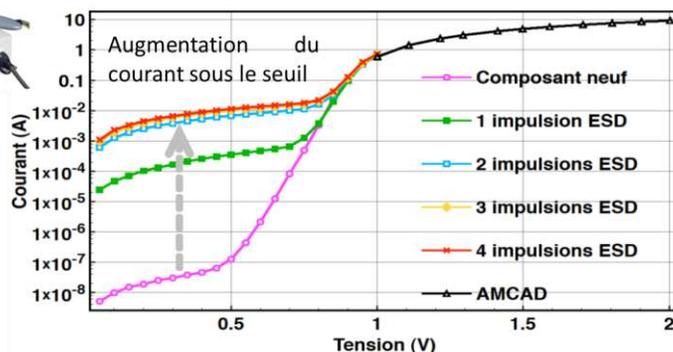
## POURQUOI LES ESDs ?

Norme HBM-IEC61000-4-2  
15 kV appliquée par contact en inverse  
Relevés IV après chaque impulsion successive

➔ Impact sur les diodes SiC



1 μm EHT = 6.00 kV Signal A = InLens Date : 17 Jul 2012  
WD = 6.0 mm Mag = 10.00 K X FIB Mag = 13.63 K X ZEISS



Zone de défaut avec fissuration du SiC attestant **des niveaux de température (supérieures à 2700°C)** et de contraintes mécaniques atteints.

Le carbure de silicium, à cette échelle d'analyse, est détruit

## CAMPAGNE DE MESURES ESD

Analyse : 4 séries d'essais

- Test 1: 6kV pour 5 DUT
- Test 2 : 3 kV pour 6 DUT
- Test 3: 8 kV – 2 DUT
- Test 4: 15 kV – 2 DUT

Conditions :

- Tension : 8 kV
- 2 composants
- Contact broche de grille

Bilan :

- Vth : augmente puis diminue...
- Igss : comportement atypique, semble se stabiliser !
- Idss : comportement atypique : Augmente puis diminue
- CV : comportement atypique : pas d'explication φ

Nécessité de campagnes supplémentaires

	CS2				CS4			
	Avant stress	1er tir	2ème tir	3ème tir	Avant stress	1er tir	2ème tir	3ème tir
Vth (V)	3.55	3.88	3.52	3.53	3.42	3.56	3.45	3.49
Courant total (A)	0	0.08	0.02	0.02	0	0.06	0.02	0.02
Igss	<10 pA	154.3 μA	152 μA	153.7 μA	<10 pA	156.3 μA	152.25 μA	152.2 μA
Idss	100 V	200.6 μA	5.42 μA	17.8 μA	1.62 nA	175 μA	3 μA	3.6 μA
	200 V	0.94 mA	22.78 μA	108 μA	0.86 mA	15.2 μA	20.6 μA	
	300 V	1.80 mA	49.2 μA	0.25 mA	1.72 mA	37.7 μA	52.1 μA	
	400 V	2.7 mA	83.5 μA	0.42 mA	2.52 mA	68.7 μA	87.3 μA	
	500 V		126 μA	0.58 mA		106.8 μA		
	600 V		179.9 μA	0.77 mA				
	700 V		0.24 mA	0.97 mA				
	800 V		0.32 mA	1.18 mA				
900 V		0.42 mA	1.45 mA					
960 V		1.40 mA	1.63 mA					
Rds(on) (mΩ)	444				444			

## AGENDA



- I. Le composant SiC dans son environnement
- II. Composant COTS étudié
- III. Caractérisations électriques du composant
- IV. Impact des ESDs
- V. Préparation de l'échantillon pour l'analyse des défaillances



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

30



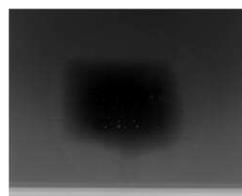
## LA PUCE SiC



Équipement: GPM/INSA de Rouen

Localisation de la puce par mesure RX, tomographie à rayons X : EasyTom150

- Équipement doté d'un générateur avec une tension d'accélération de 150kV  
→ Détecter et reconstruire en 3D des variations de densité (défauts, renforts, inclusions...)
- Résolution de 12  $\mu\text{m}$  dans les matériaux métalliques
- Résolution de 6  $\mu\text{m}$  dans les matériaux composites à renfort fibreux



Vues du transistor en tomographie à rayons X

### Bilan :

- Localisation de la puce dans le boîtier
- Visualisation des vides ou "vides",
- Impossible de détecter des défauts sur la puce de type ESD



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

31



## LOCALISATION DE LA PUCE SIC



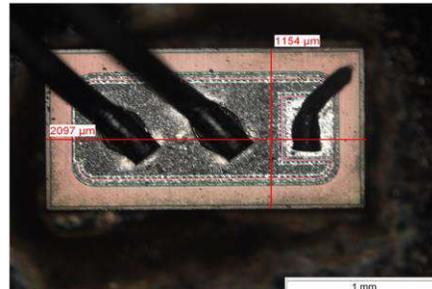
### But ultime :

- Relever les signatures électriques et suivre l'évolution de paramètres clés
- Analyser et comprendre les dégradations et performances, les mécanismes de défaillance à l'échelle de la puce!
- Modélisation et compréhension des processus de vieillissement.

Composant packagé TO-247-3: besoin d'accès à la puce



Ouverture face avant: attaque Laser et chimique



Métallisation en face avant !



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

32



## OUVERTURE DE LA PUCE EN FACE ARRIÈRE : POUR L'ANALYSE DE DÉFAILLANCES



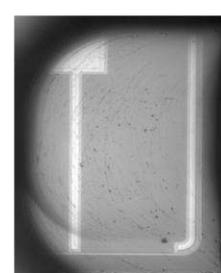
Étape 1



Étape 2



Étape 3



Étape 4

### Étapes :

1. Ablation mécanique des couches : cuivre, brasure.
2. Amincissement du substrat SiC
3. Polissage
4. Observation ( par ex mesure des émissions de photons) par transparence du SiC



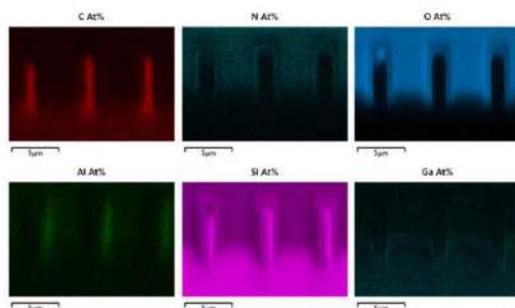
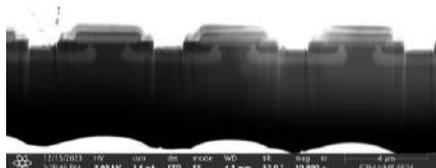
Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

33

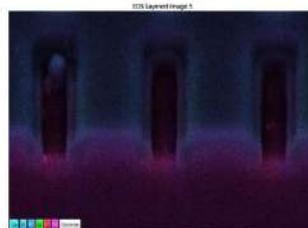
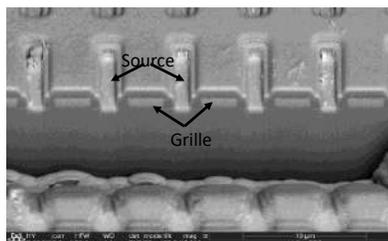


## ANALYSE FIB-MEB-EDX DE LA COUPE TRANSVERSE

Coupe FIB identification des cellules



Vue MEB en surface: bonding et métallisation



Analyse EDX :

- Détection du SiC
- Présence du Ga: contamination par la source du MEB Ga

## PRÉPARATION DE LA COUPE PAR RODAGE POLISSAGE



Découpe mécanique



Polissage disques abrasifs



Enrobage



Microscopie optique

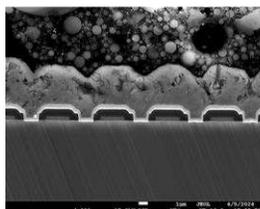


Packaging : Epoxy Molding Component (EMC)  
SiC die  
Bondings

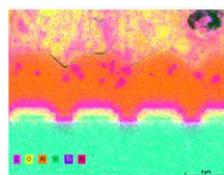
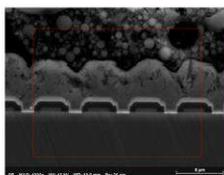
## ANALYSE DE LA COUPE TRANSVERSE



### Structure SiC



### MEB et EDX



### AFM topographie



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

36



## AGENDA

- I. Le composant SiC dans son environnement
- II. Composant COTS étudié
- III. Caractérisations électriques du composant
- IV. Impact des ESDs
- V. Préparation de l'échantillon pour la FA
- VI. Impact des irradiations : SEB

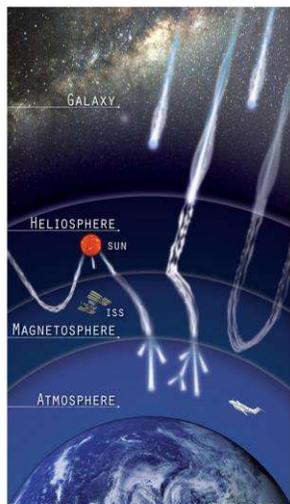


Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

37



# L'ENVIRONNEMENT SPATIAL



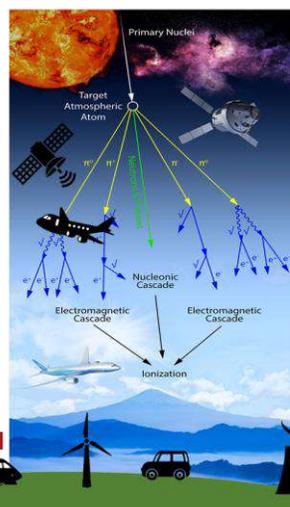
Environnement Spatial

Missions Spatiales

Environnement atmosphérique

Applications avioniques

Applications au niveau du sol



Protons, electrons, ions lourds,  $\gamma$ -rays, X-rays

Neutrons, protons  $E > 10$  MeV

6000 neutrons/cm<sup>2</sup>/h

20 neutrons/cm<sup>2</sup>/h



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

38



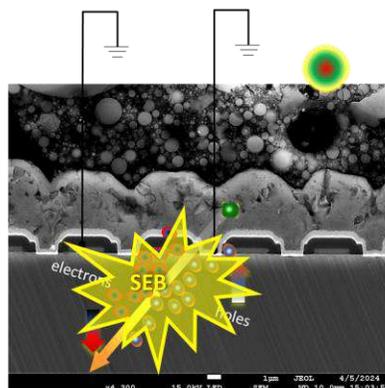
# SINGLE EVENT BURNOUT (SEB) INDUIT PAR UNE PARTICULE



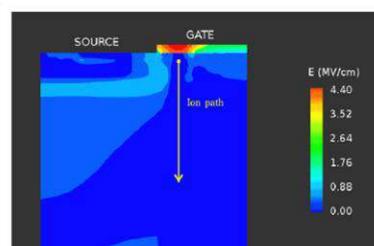
Single Event Burnout (SEB)

**JEDEC definition:** An event in which a single energetic-particle strike induces a localized high-current state in a device that results in catastrophic failure

\*JEDEC: open standards and publications for the microelectronics industry



$V_{DS} > 0$



ECORCE TCAD



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

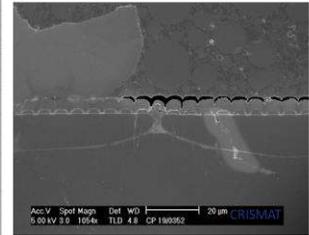
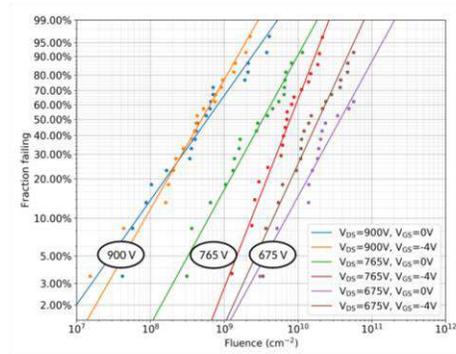
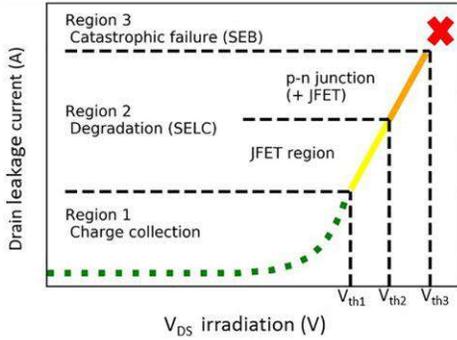
39



# PARAMÈTRES INFLUANT LES SEB SUR LE MOSFET SiC



- L'effet singulier SEB dépend de:
- ✓  $V_{DS}$  appliquée pendant s'irradiations
  - ✓ Tendance en fonction du  $V_{GS}$



C. Martinella et al., *Microelectronics Reliability*(2021)

K. Niskanen et al. *IEEE TNS* (2021)

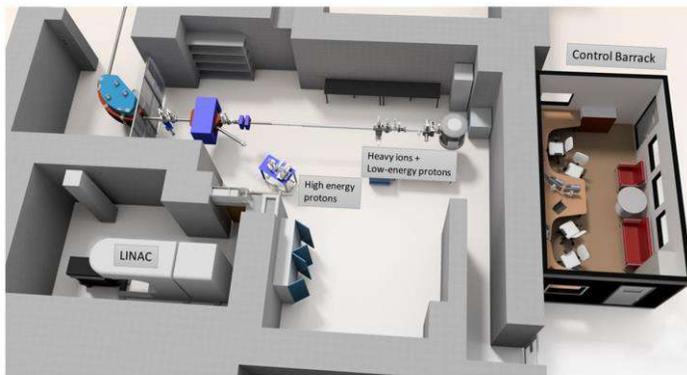
R. Coq Germanicus et al., *Materials Science Forum* (2022)



# EFFET DES PROTONS: IRRADIATION RADEF (FINLAND)



RADIation Effects Facility (RADEF) à l'Université de Jyväskylä, Finland



- Protons à 53 MeV
- Flux  $10^8 \text{ p.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- Fluence totale :  $10^{11} \text{ p.cm}^{-2}$

15 composants du même lot irradiés

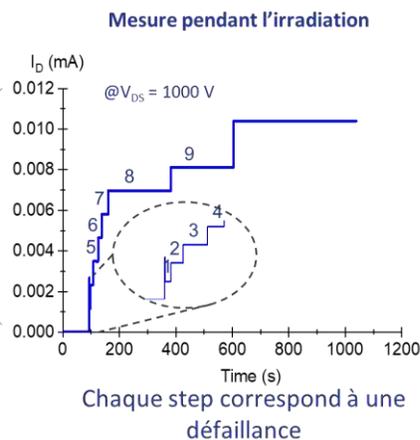
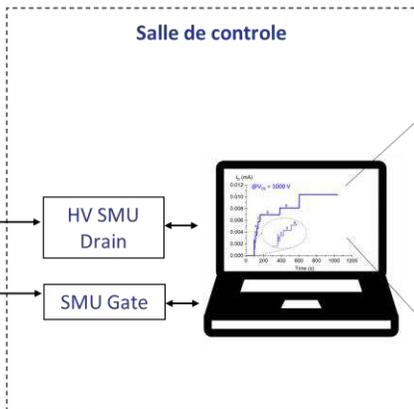


# TEST D'IRRADIATION



**Chambre d'irradiation**  
 Test board  
 15 DUTs avec  $V_{DS} = 1000\text{ V}$   
 (83 % du max) et  
 $V_{GS} = 0\text{ V}$

Suivant le standard MIL-STD-750E



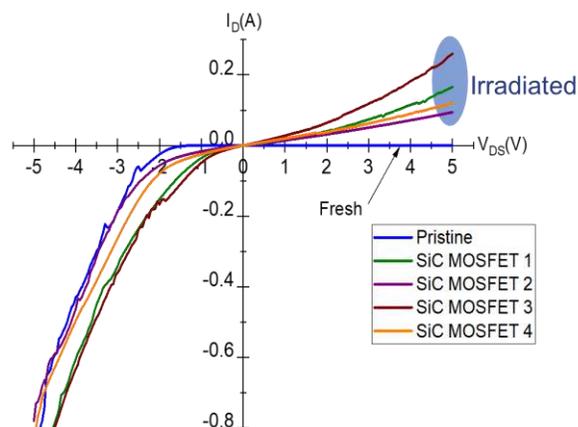
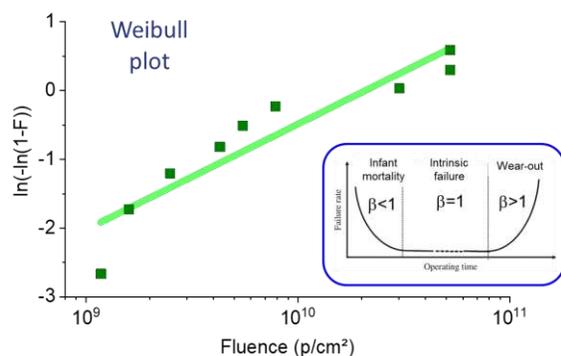
➔ **9 composants sur 15 ont subi un SEB pendant l'irradiation**



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)



# RESULTATS AU NIVEAU DU COMPOSANT



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)



## RESULTATS AU NIVEAU DE LA PUCE



**IMPORTANT NOTICE**

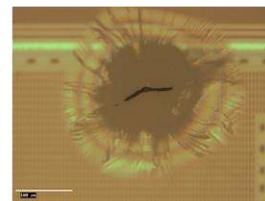
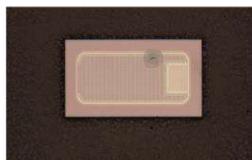
Aucun dommage observable sur le packaging



Ouverture à travers le boîtier



Localisation du dommage au travers du SiC en face arrière



Vue Optique  
SiC puce amincie à moins de 50 µm d'épaisseur



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

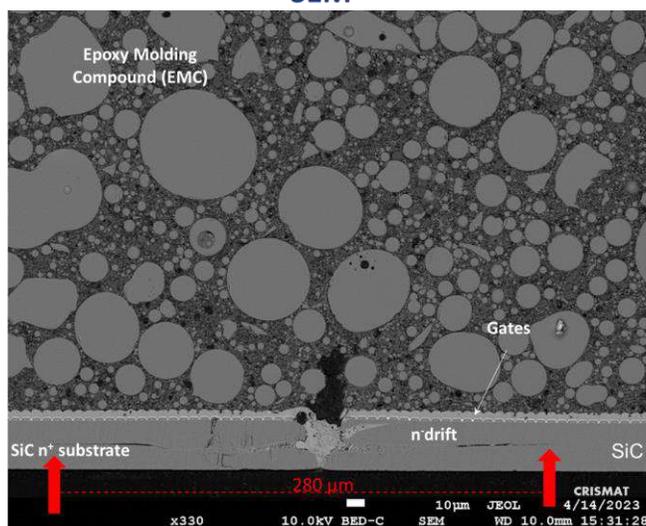
44



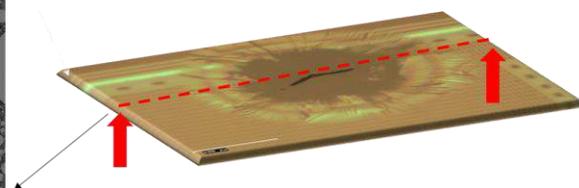
## RÉSULTATS AU SEM APRÈS CROSS



SEM



Optique



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

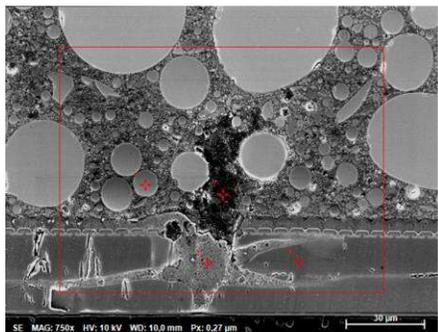
45



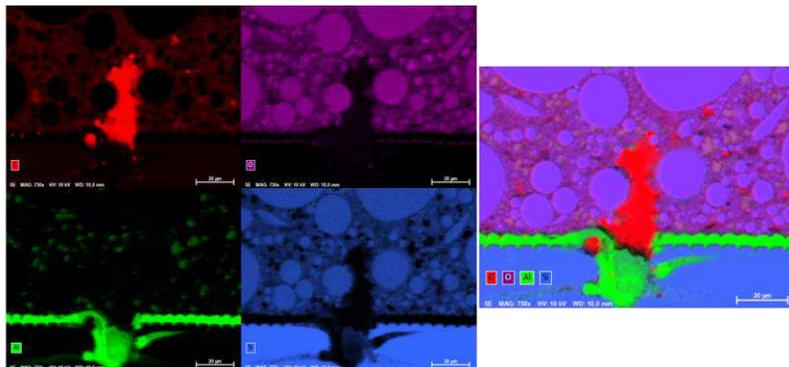
## RÉSULTATS AU SEM ET EDX



SEM



SEM + EDX

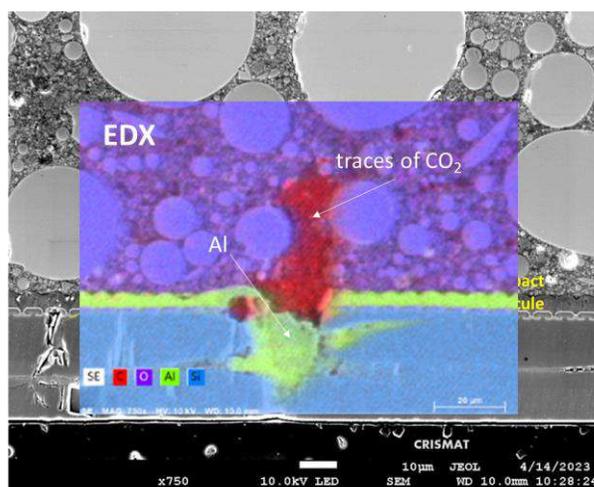


Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

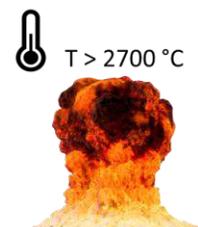
46



## SCÉNARIO DE L'ÉVÈNEMENT SINGULIER SEB



SEM, JSM-7200F JEOL



R. Coq Germanicus et al.,  
ISTFA(2023)



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

47



## AGENDA



- I. Le composant SiC dans son environnement
- II. Composant COTS étudié
- III. Caractérisations électriques du composant
- IV. Impact des ESDs
- V. Préparation de l'échantillon pour la FA
- VI. Impact des irradiations : SEB
- VII. Conclusion et Perspectives



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

48



## CONCLUSION



- ✓ Etude d'un composant MOSFET SiC du commerce pour des applications automobiles et aéronautiques
- ✓ Mise en place d'une méthodologie des caractéristiques électriques à la puce
- ✓ Optimisation de la préparation d'échantillon pour accéder à la puce et à la structure pour la FA
- ✓ Sensibilité aux ESD et aux SEB
- ✓ Après irradiation protonique : mis en évidence de l'emballement thermique localisé au sein de la puce
- ✓ A partir des mesures SEM : scénario de la dégradation au sein de la puce



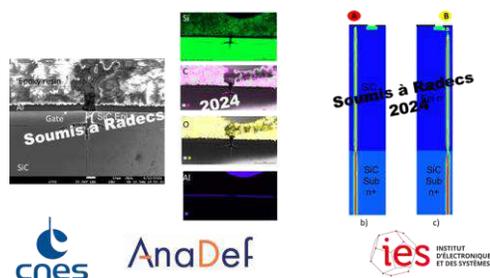
Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

49



## PERSPECTIVES ET COLLABORATIONS

- Caractérisation norme automobile SAE J 1113/13 après SEB en cours
- Collaboration avec l'Enit Tarbes, étude du vieillissement en commutation sous charge inductive et caractérisation en paramètres S.
- Brique Simulation sur Ecorce en cours
- Collaboration avec le CNES pour analyser d'autres puces défaillantes afin de mettre en évidence le paramètres répétitifs ou pas du modes de défaillance.

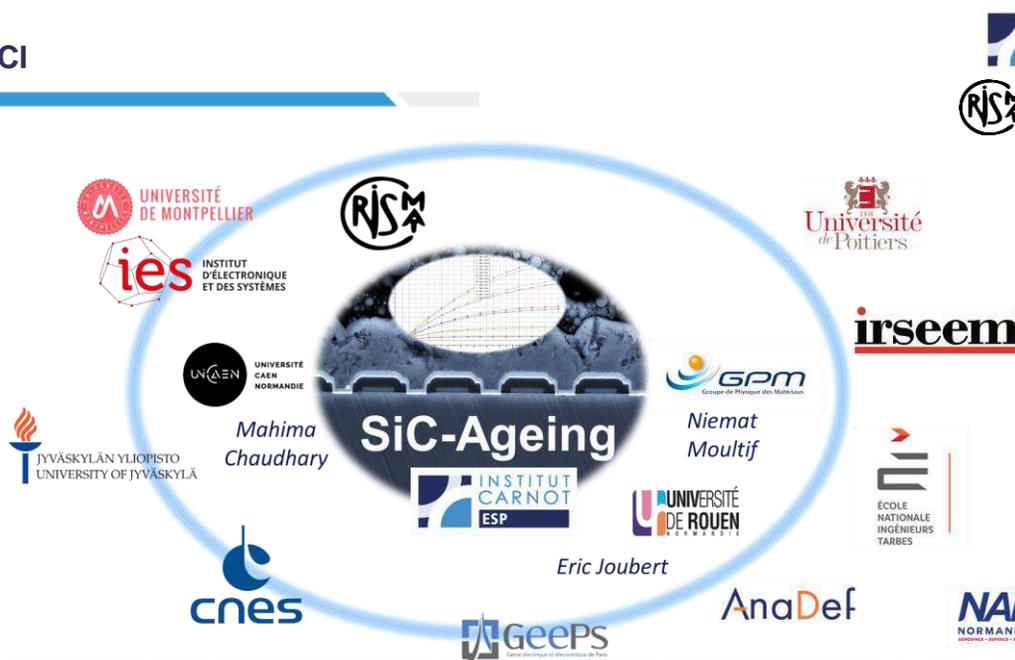


Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

50



## MERCI



Rosine Coq Germanicus (CRISMAT UMR6508) et Pascal Dherbécourt (GPM UMR6634)

51





Merci pour votre attention  
Des questions ?



## TECH HOUR PROCHAIN SUJET

mardi 25 juin 2024

**Injection hydrogène pour l'aéronautique**



**Retenez la date  
du prochain  
Tech Hour**

L'intervention sera réalisée par :

**Frédéric Grisch** Professeur des Universités - INSA Rouen Normandie / CORIA  
**Gilles Cabot** Professeur des Universités - Université de Rouen / CORIA  
**Vincent Moureau** Chargé de recherche CNRS / CORIA

Laboratoire CORIA CNRS UMR 6614 – Saint Etienne du Rouvray  
Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie

L'aviation représente ~2,5 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. Les chambres de combustion des avions actuels brûlent des hydrocarbures, tels que le kérosène et du carburant d'aviation durable. Pour réduire l'empreinte carbone de l'aviation, les motoristes se tournent vers l'hydrogène, un carburant prometteur à zéro émission de carbone. Le CORIA, par l'intermédiaire du projet européen HESTIA, se propose de développer des architectures innovantes d'injecteurs combinant une optimisation du mélange H<sub>2</sub>/air, une stabilité de flamme et une réduction des émissions de NO<sub>x</sub> lors de combustion H<sub>2</sub>-air dans les futurs moteurs aéronautiques à hydrogène.





## NAE

745 avenue de l'Université  
Bâtiment CRIANN  
F - 76800 Saint-Etienne du Rouvray  
T +33 (0)2 32 80 88 00

[www.nae.fr](http://www.nae.fr)