

# NRTW 2025

## National Reliability Technology Workshop

Mercredi 19 et Jeudi 20 mars 2025 | GANIL – Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

Impact de l'humidité sur les modules 1200 V à base de SiC ,  
travaux en cours dans le projet SiCRET + et échange au sein du  
Groupe de Travail Humidité du CFF

Régis MEURET



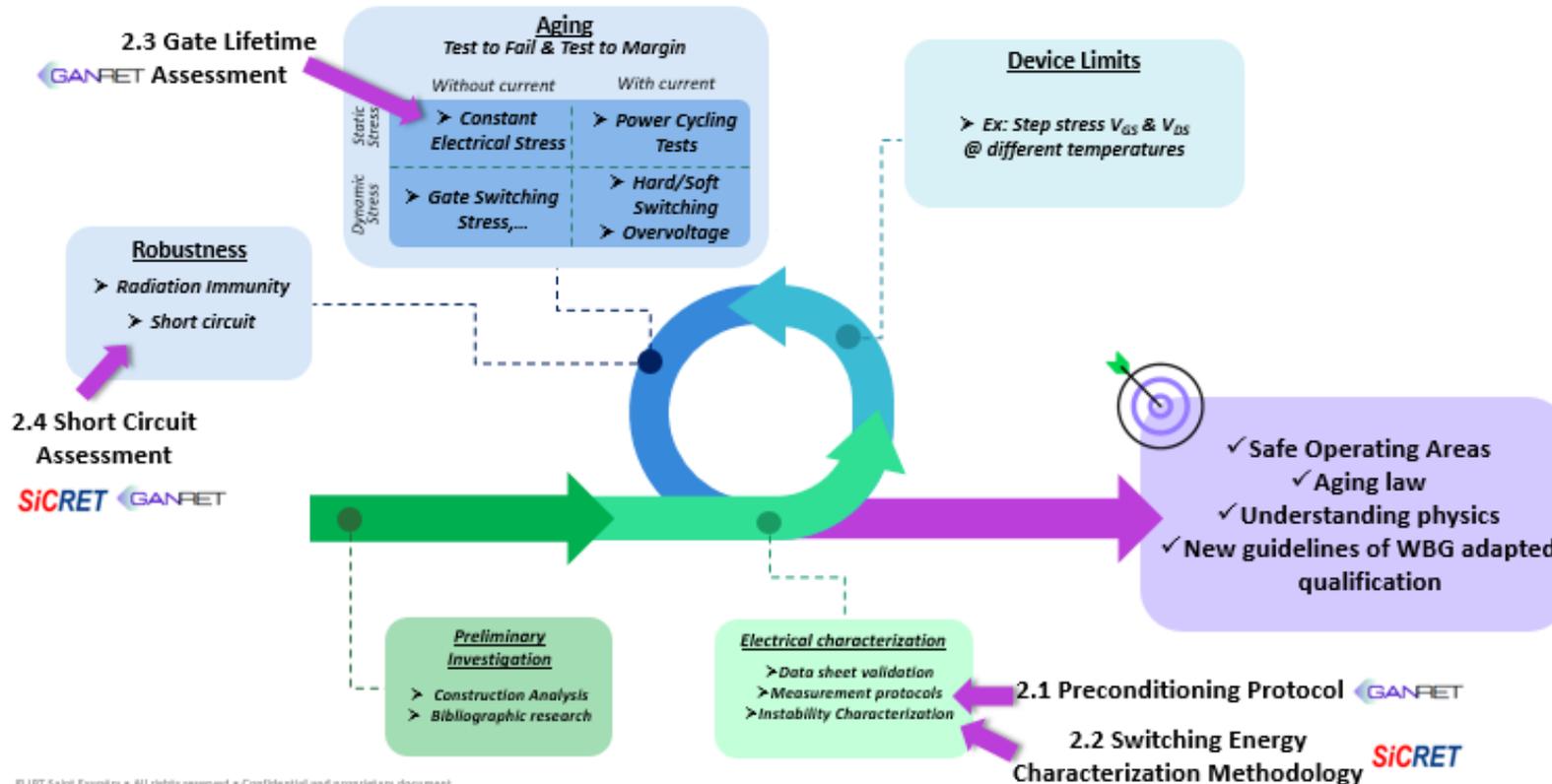
Organisé par :



# High Density and Reliability Energy TEAM

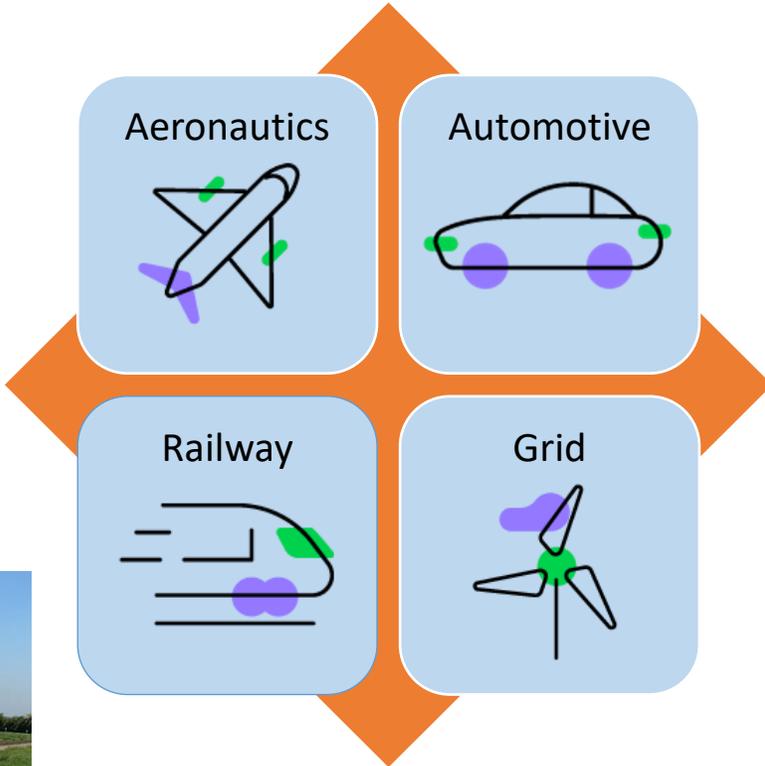
[fabio.cocchetti@irt-saintexupery.com](mailto:fabio.cocchetti@irt-saintexupery.com)

## Reliability Investigation Workflow



© IRT Saint Exupéry - All rights reserved - Confidential and proprietary document

- **Lifetime models** taking into account **mission profiles** for lifetime demonstration
- **Parameter drift** impacts (losses...) and **models** close to the real application conditions
- **Margin** definitions
- **Qualification test** definition adapted to SiC MOSFET power modules



Objectif : réduire les risques

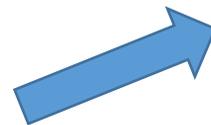
## SiCRET

*Silicon Carbide Reliability Evaluation for Transport*

Focus: SiC MOSFET die



- ✓  $V_{th}$  measurement procedure
- ✓ REL tests up to 4000 h (beyond qual)
- ✓ HTGS test and associated drift model
- ✓ Short circuit tests (repetitive)
- ✓ Radiation test methodology
- ...



## SiCRET<sup>+</sup>

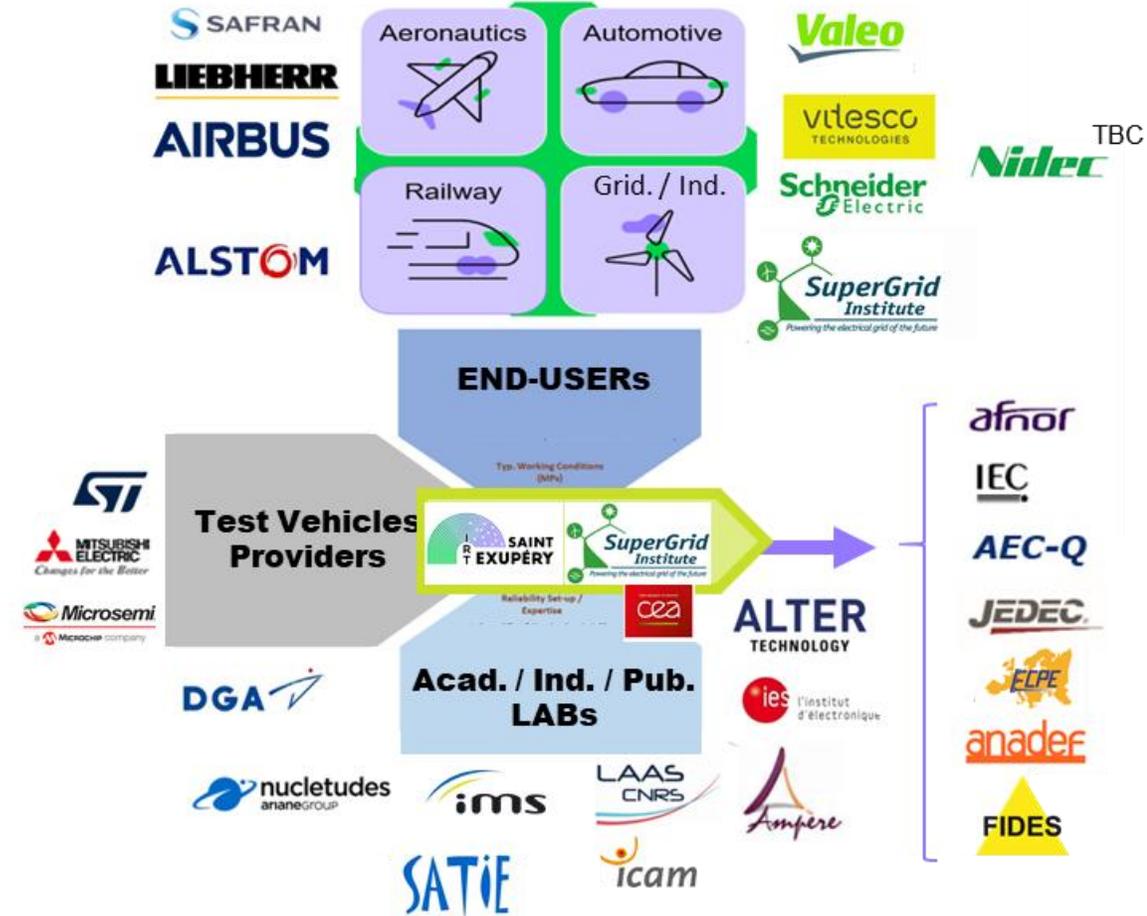
*Silicon Carbide Reliability Evaluation for Transport*

Focus: SiC MOSFET multi-chip module

- ? Parallelization
- ? Impact of layout (electrical, thermal)
- ? Load cycling capability
- ? Coupled effects (die/assembly, multistress)
- ? Moisture effect
- ? ...

## Consortium:

- Main Multi-sector industrial players
- Best-in-Class Laboratories (public-private)
- Main technology (ODM) providers (STM, MITSU, ...)
- Main institutional regulation bodies / networks

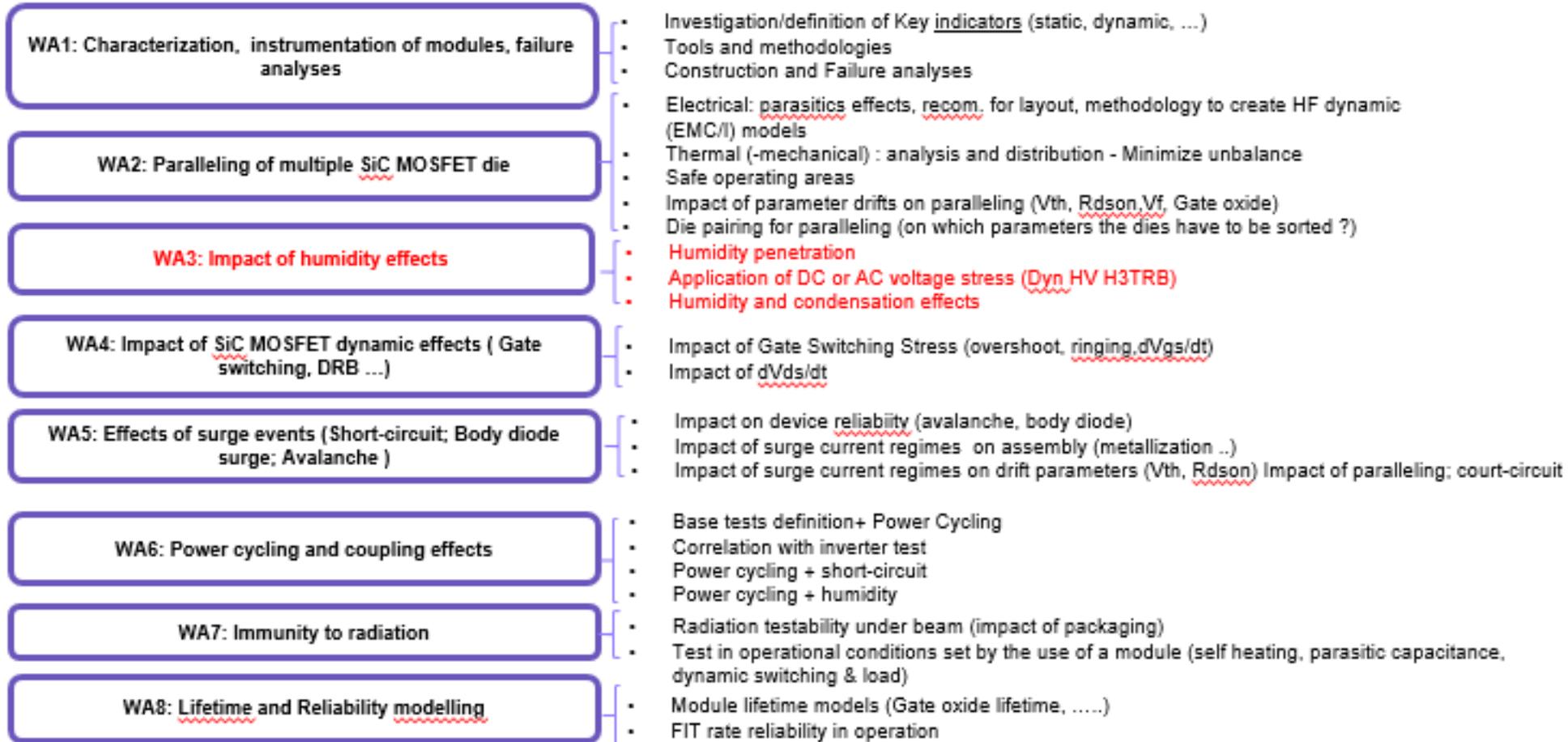


- € ~ 6.73 M€
- 48 months (Oct. 2023 to Oct. 2027)
- 3/8 SMEs / LargeComp
- 4 PhD (with 4 Laboratories)

... and LINK with other projects and committee

- SiCRET+ the only project dedicated fully devoted to SiC MOSFET Modules Reliability
- Critical mass consolidation by interaction with other projects and other working group
  - KDT (ARCHIMEDES, KDT2024, ...)
  - IPCEI (VITESCO, VALEO, STM\*, ...)
  - ECPE (ISLE, ETVS, ...)
  - CFF (French reliability committee)

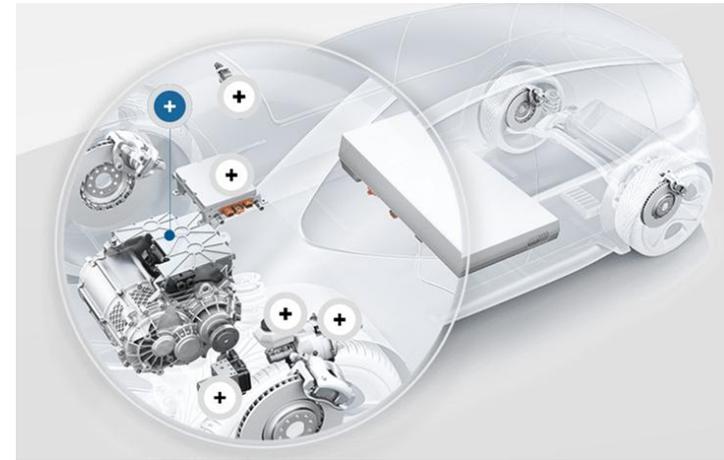
## Working Area (project decomposition by Technical / Scientific LOCKS)



## De plus en plus d'applications dites « out door »



Eoliennes off shore ou terrestre



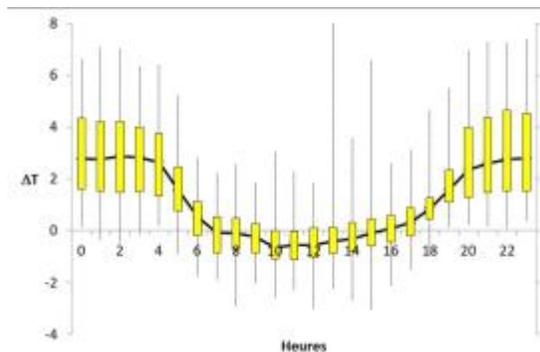
Voiture électrique ou hybride



Panneau photovoltaïque

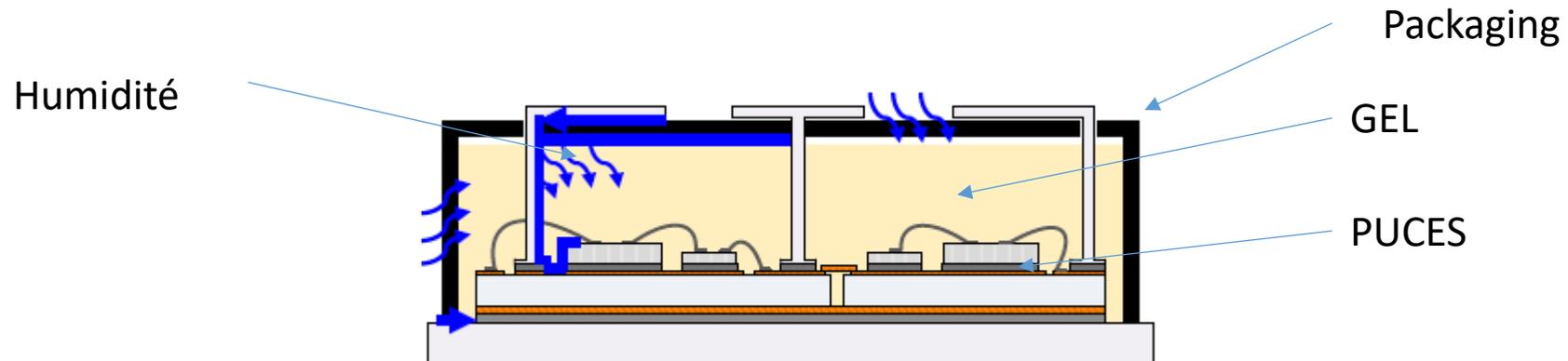
## De plus en plus d'applications dites « out door »

- Avec des électroniques qui ne sont plus confinées dans des endroits protégés des conditions climatiques : température , humidité, sel , gaz (SO<sub>2</sub>,....)



Exemple de variation de la température dans une journée

- Environnement : température , Humidité , Condensation , Contaminants.
- Conditions d'opération : tension d'alimentation , fréquence de commutation ,  $dv/dt$  ,et profil de charge .
- Caractéristiques de fabrication : technologie de la puce ,matériaux de packaging et solution d'encapsulation .
- Processus de fabrication et contrôle associé



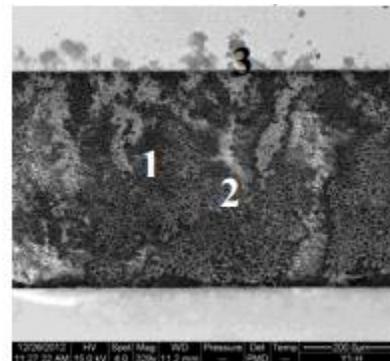
# Mécanismes de défaillance liés à l'humidité : des mécanismes souvent combinés

## 1) Migration électrochimique : ECM

➔ Formation de dendrites

➔ micro court circuit et court circuit Humidité 85 % RH

- Phénomène lié à l'humidité et la tension et va dépendre de l'efficacité des protections contre l'humidité et donc de la pénétration de l'humidité ainsi que la protection des métaux



# Mécanismes de défaillance liés à l'humidité : des mécanismes souvent combinés

## 2) Corrosion de l'aluminium

- Au niveau des interfaces de la puce
- Au niveau des bondings : contribue à l'accélération de la fatigue du bonding

Phénomène lié à l'humidité , le champ électrique et le profil de charge (PCT)

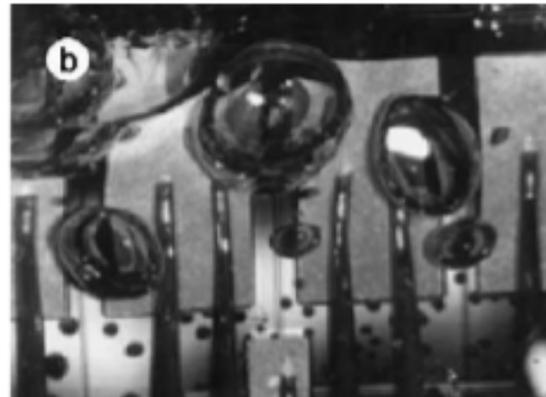
## Influence of Humidity on the Power Cycling Lifetime of SiC MOSFETs

Yanhao Wang<sup>ID</sup>, Erping Deng<sup>ID</sup>, *Member, IEEE*, Lixin Wu, Yuxing Yan, Yushan Zhao<sup>ID</sup>,  
and Yongzhang Huang, *Member, IEEE*

## **DEFAILLANCES DES MODULES DE PUISSANCE LIEES A LA CORROSION DES MATERIAUX**



– Le phénomène de corrosion peut toucher les parties métalliques des composants du module (bonding, métallisation...) et également les encapsulants (gel silicone). La corrosion des fils de bonding, généralement en aluminium, est un mécanisme de défaillance bien connu en microélectronique. Quand ces fils sont mis en contact avec de l'oxygène, une couche fine d' $Al_2O_3$  se forme. En présence d'eau, cette couche se transforme en hydroxyde d'aluminium ( $Al_2(OH)_3$ ). Quand ce dernier est exposé à une autre solution, il peut être dissous par des acides forts (acide phosphorique  $H_3PO_4$ , acide chlorhydrique  $HCl$ ) et des bases fortes (hydroxyde de potassium  $KCl$ ) [19]. En présence d'un électrolyte, l'aluminium est corrodé par oxydoréduction [25]. Cette corrosion conduit à une détérioration des fils à long terme, pouvant conduire à leur rupture (Figure I-7a).



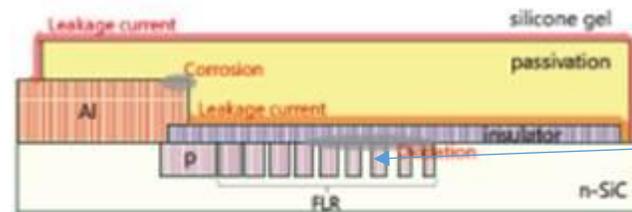
**Figure I-7 : Rupture d'un bonding d'émetteur due à la corrosion (a) et formation d'inclusions gazeuses dans le gel silicone (b) [19].**

En outre, on a observé que la corrosion des bondings se produit en liaison avec la formation d'inclusions gazeuses dans le gel silicone (dégagement gazeux dû aux différentes réactions chimiques) (Figure I-7b), particulièrement pendant le fonctionnement à haute température du module [19]. L'interaction entre le gel et les mécanismes de corrosion reste mal connue.

19 : M. CIAPPA, "Selected failure mechanisms of modern power modules", Microelectronics Reliability, Vol. 42, pp. 653-667, 2002

# Mécanismes de défaillance liés à l'humidité : des mécanismes souvent combinés

## 3) Corrosion au niveau des terminaisons de la puce et



Anneaux de garde

Fig. 1: Schematic cross-sectional view of SiC-SBD and possible degradation modes in the HV-H<sup>3</sup>TRB test.

Phénomène lié à l'humidité , champ électrique et modification des propriétés électrique du gel → courant de fuite , → modification de la tenue en tension statique ou dynamique (effet du  $dv/dt$ )

# Mécanismes de défaillance liés à l'humidité : des mécanismes souvent combinés

4) Création de bulles en surface de la puce suite phase vapeur d'une condensation en proximité de la surface liée à l'échauffement rapide de la puce lors du chargement en courant :

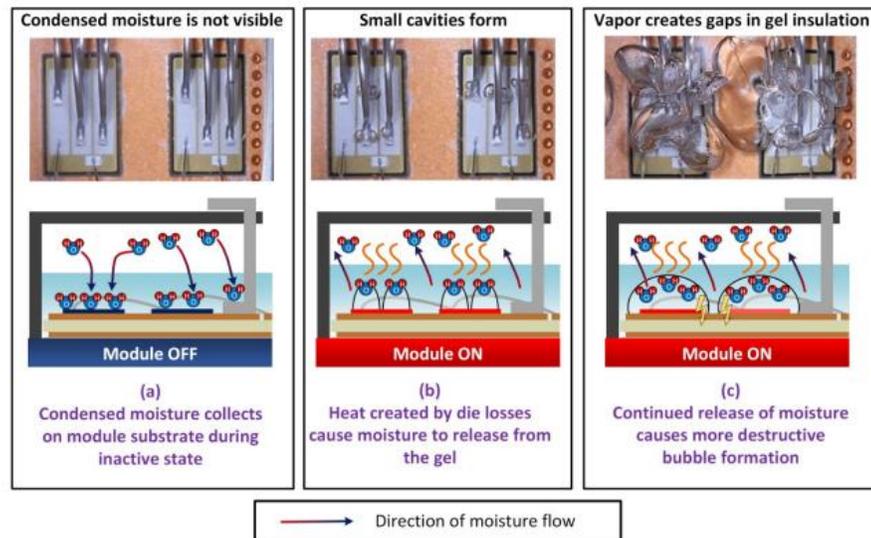


Fig. 6 Example of water vapor bubble formation within silicone gel

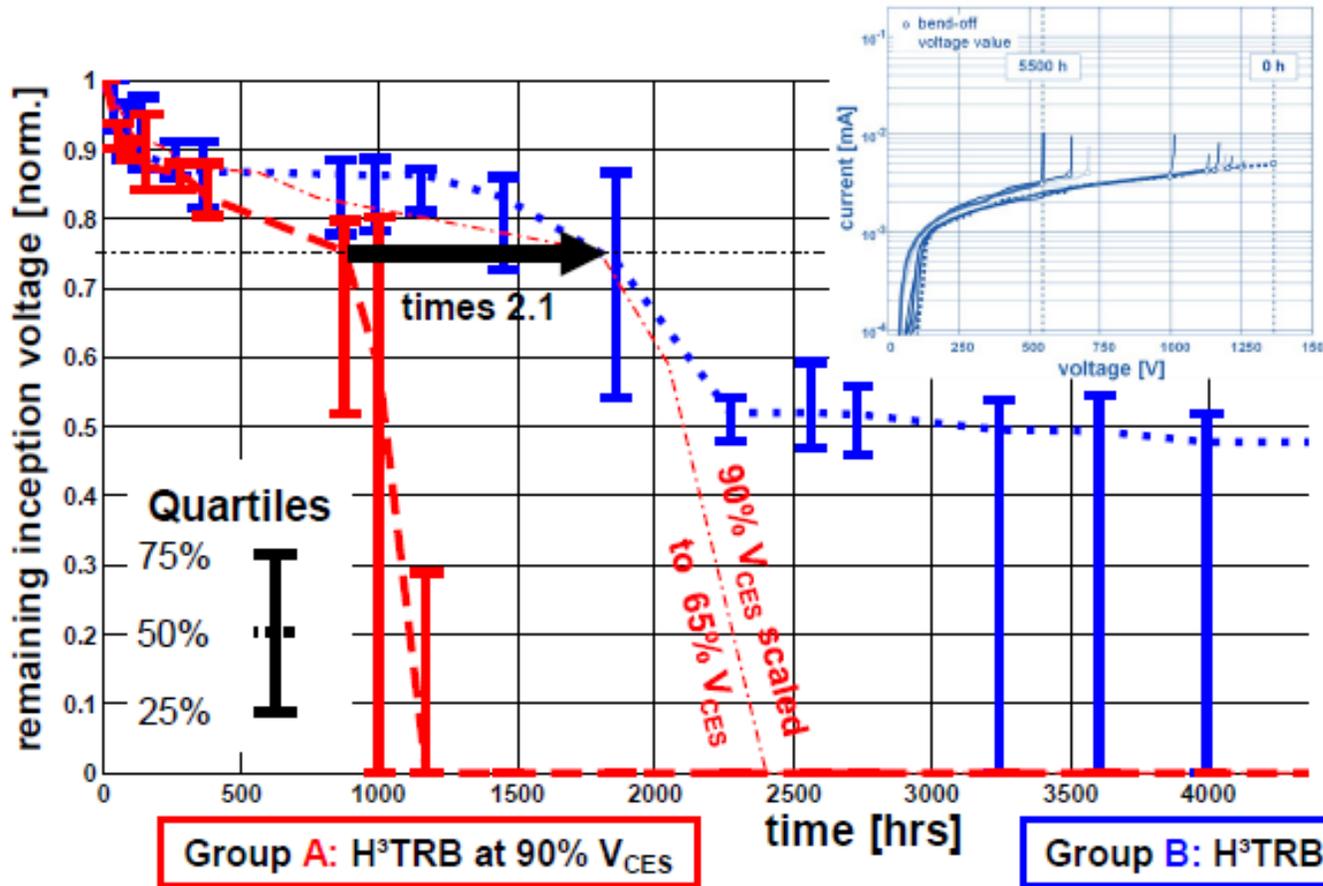
- ➔ Décharge partielle et claquage en tension
- ➔ Modification des propriétés du gel

## Situation actuelle pour les tests de qualification fiabilité avec Humidité

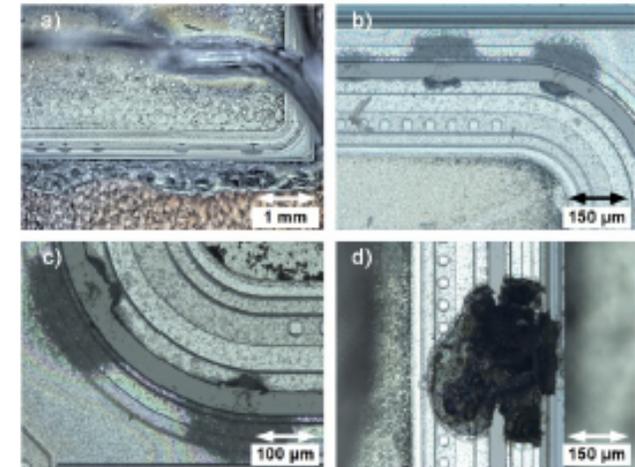
- Au niveau normatif seul un test H3TRB était définie :
  - Humidité 85 % RH
  - Température 85°C (température constante)
  - Et avec une polarisation faible ex: 80 V pour les composants avec un  $V_{ce} > 100$  V
  - Durée du test 1000 h
  
- Mais ce test n'est pas représentatif des conditions d'exploitation des composants de puissance et ne détecte pas les faiblesses des modules de puissance .

## Impact of the bias voltage on the humidity-driven degradation dynamics

7



- Early effect after 50 h already
- “Real” degradation



- Stabilisation

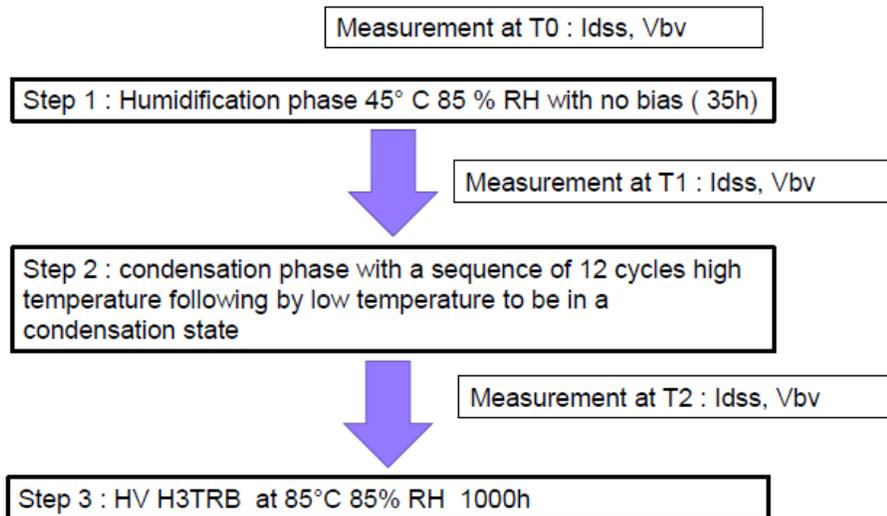
Impact de la variation de tension dynamique :  
 on se rapproche des conditions de la vraie vie  
 → Dyn HV H3TRB (AQG 324 extact)

Table 9.11a: QL-07a Dynamic high-humidity, high temperature reverse bias (dyn. H<sup>3</sup>TRB)

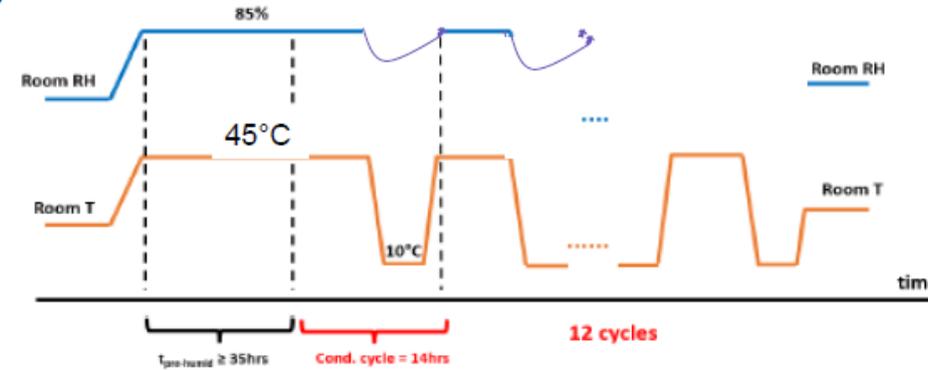
Parameter	Value
Test duration	1 000 h
Test temperature	85°C
Relative humidity	85%
Drain-source voltage	$V_{DS} > 0.5 \cdot V_{DS,max}^a$
dV <sub>DS</sub> /dt (of DUT)	> 30 V/ns (max. possible)
Switching frequency	15 kHz ≤ f ≤ 25 kHz
Gate voltage	$V_{GS,off} = V_{GS,min,recom}$ and $V_{GS,on} = V_{GS,max}$
<p><sup>a</sup> DC-voltage &gt; 0.5 · V<sub>DS,max</sub> should be in the range of the application voltage. Overshoots due to oscillation shall be in the range of 0.8 to 0.95 V<sub>DS,max</sub> (note, prevent failure due to overvoltage, clamping is allowed).</p> <p><sup>b</sup> Self heating should be handled like on DC-H<sup>3</sup>TRB (keep it low) and has to be calculated.</p> <p><u>Notes:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The test can be performed without load current I<sub>L</sub>.</li> <li>- The proposed test parameters are derived from typical application conditions or are based on best practice.</li> </ul>	

## Réflexion en cours au sein du projet SiCRET + et échange avec le consortium AQG 324

- Condition for HV H3TRB with moisture and condensation :



1) Humidity phases and condensation with no bias not include in the AQG today



- The 35 h will be confirmed after the test penetration
- 1.5 hours at  $T=10^{\circ}\text{C}$ , RH not controlled (condensation segment)
- 12 hours at  $T=45^{\circ}\text{C}$ , RH = 85% (intermediate humidification)
- Ramp-up/down speed,  $dT/dt \approx 1.2 \text{ K/min}$

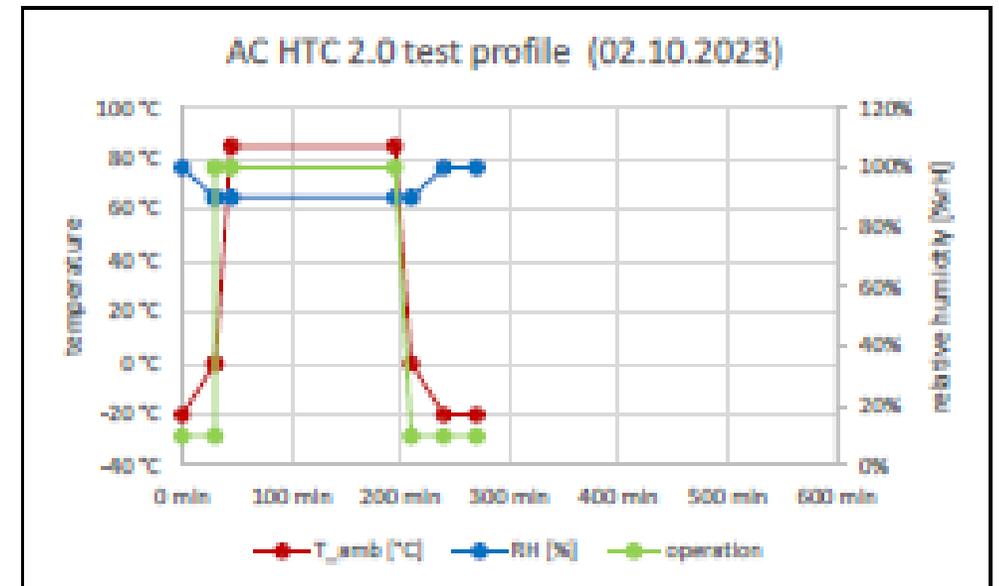
Article: Condensation Test: Methodology and Robustness Against it for Power Modules Employed in Railway Application  
 Edoardo Ceccarelli<sup>1</sup>, Olivier Quittard<sup>1</sup>, Thomas Gloor<sup>1</sup>, Milad Maleki<sup>1</sup>, Gontran Pâques<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Hitachi Energy, Switzerland

FRENCH

## Impact de la variation de température pour les applications Panneaux photovoltaïque (SMA lead)

Find here the detailed parameters "new" to "old" tests

	AC-HTC 1.0	AC-HTC 2.x	HV H3TRB	dyn. H <sup>3</sup> TRB (AQG-324)
device under test	module with gel	module with gel	module with gel	module with gel
AC operation	yes	yes	no	yes
test voltage / nom. Voltage	67%	80%	80%	50%
topology	booster	half bridge	DUT	half bridge
frequency	approx. 16kHz	variable	no	15...25 kHz
duty cycle	50%	50%	no	50%
dv/dt	< 30V/ns	> 30V/ns	no	> 30V/ns
humidity max.	85%	85%	85%	85%
Tmax	85 °C	85 °C	85 °C	85 °C
Tmin	-20 °C	-20 °C	85 °C	85 °C
time @Tmax	360 min	150 min	60000 min	60000 min
time @Tmin	150 min	150 min	0 min	0 min
slope Tmin <--> 0°C	30 min	30 min	0 min	0 min
slope 0°C <--> Tmax	15 min	15 min	0 min	0 min
cycle time	600 min	390 min	60000 min	60000 min
cycles per day	2,4 cycles per day	3,7 cycles per day	0,0 cycles per day	0,0 cycles per day
time @Tmax per day	864 min	554 min	1440 min	1440 min



## Enjeux et Objectifs du GT-Humidité

- Nos systèmes sont de plus en plus complexes et intègrent de plus en plus d'électronique embarquée.
- Tous les secteurs industriels sont concernés et principalement les acteurs des applications outdoor mais aussi les acteurs de la santé avec les dispositifs médicaux implantés.



Comment évaluer et comprendre l'impact de l'humidité sur la fiabilité d'un composant ou d'un système électronique ?

Les objectifs sont :

- De rassembler les acteurs du sujet : Industriels et académiques et de partager un besoin, une expérience, un savoir.
- D'établir un réseau en France sur le sujet pour comprendre les mécanismes qui ne sont pas simple qui font appel à des connaissances multi physiques : réseau de compétences
- Etablir des liens avec d'autres réseaux en France et à l'étranger
  - Réseau CEFRACOR : [Centre Français de l'Anticorrosion](#)
  - Réseau CFM : [Centre Français de Métrologie](#)
  - Réseau européen : [Celcorr / Centre For Electronic Corrosion](#)



**Comité Technique :** Francois Bouvry, Caroline Richard, Regis Meuret

## GT-Humidité – Saison 1 : 10 réunions entre sept.-2023 et juin-2024

Les acteurs du GT-Humidité : un réseau constitué en 2024

### Partenaires industriels

44 entités  
représentées  
65 personnes  
participantes

### Partenaires institutionnels

### Partenaires académiques et laboratoires

## GT-Humidité – Saison 1 : 10 réunions entre sept.-2023 et juin-2024

Les différents intervenants en 2023-2024

	<b>Rubrique I :</b>	<b>Rubrique II :</b>	<b>Rubrique III :</b>	<b>Rubrique IV :</b>	<b>Rubrique V :</b>
<b>Sujet</b>	<b>Mesure de l'humidité</b>	<b>Effet sur les matériaux</b>	<b>Modes de défaillance</b>	<b>Tests, normes d'essais et fiabilité</b>	<b>Travaux en cours</b>
<b>Intervenants</b>	CETIAT, TE Connectivity, SENSIRION	G2ELAB, IMS, UMS, GREMAN, LAPLACE, PROTAVIC	SERMA Technologies IMS, ST Microelectronics	ALTER Technology, IRT Saint Exupéry, LGM, H2P Solutions, SAFRAN Nacelles, AIRBUS, ALSTOM, LIEBHERR, AMPERE (Renault)	Normes et standard Projet SiCRET+ Projet RECOME Travaux du CEFRACOR Actions de EFC Actions de ECPE Actions du CELCORR

## GT-Humidité – Saison 1 : 10 réunions entre sept.-2023 et juin-2024

Les différents sujets en 2023-2024

### Présentations :

1. Solutions de mesures d'humidité dans les solides, par **Bayan TALLAWI (CETIAT)**
2. Tour d'horizon des fournisseurs de capteurs et besoins, par **Régis MEURET (IRT Saint Exupéry)**
3. Expérience TE Connectivity : Humidity Sensitive Capacitor, par **Régis MEURET (IRT Saint Exupéry)**
4. Experience SENSIRION : Capteur intégré dans l'encapsulant, par **Régis MEURET (IRT Saint Exupéry)**  
-----
5. Caractérisation des résines d'encapsulation : Contribution à l'évaluation de la fiabilité des assemblages QFN et WLP : études thermo- et hygro-mécaniques des résines d'encapsulation.  
Thèse CIFRE – **IMS et UMS**. Par **Ariane TOMAS**.
6. Laboratoire GREMAN CNRS UMR7347 - INSA Centre Val de Loire, équipe DISCUS , et équipe OXYDES  
par **Guylaine POULIN-VITTRANT, Séverine BOUCAUD-GAUCHET** et **Caroline RICHARD**
7. Enrobage, Die Attach et résine d'encapsulation, ... par **Jean-Christophe LEROUX (PROTAVIC)**
8. Travaux sur les diélectriques sur les systèmes électrotechniques, par **Pascal RAIN (G2ELAB)**
9. Caractérisation des matériaux diélectriques et Effets de l'humidité  
par **Sombel DIAHAM du Laboratoire LAPLACE (Toulouse)**  
-----



## GT-Humidité – Saison 1 : 10 réunions entre sept.-2023 et juin-2024

Les différents sujets en 2023-2024

### Présentations :

10. Analyse de défaillance en condition d'humidité : Monitoring en test des indicateurs, par **Vincent MARTINEZ – SERMA Technologies**
11. Investigating moisture degradation mechanisms on the reliability of integrated low-k stack, Étude des mécanismes de dégradation de l'humidité sur la fiabilité de la pile intégrée à faible k, par **Léo MISCHLER (IMS – STMicroelectronics Crolles)**
12. Tests et normes d'essais : Normes d'essais, et leurs évolutions + RETEX de mode de défaillance Par **Eric SERRE (AMPERE SA)**
13. Tests et normes d'essais : Normes d'essais, et leurs évolutions + RETEX de mode de défaillance par **Luc LE HERISSE (DGA MI Bruz)**
- 
14. Tests « humidité » sur système électronique tout secteur – RETEX par **Olivier PERROTIN – ALTER Technology**
15. Norme DO-160G Section 6 « HUMIDITY » par **Alain NOURRISSON – SAFRAN Nacelles**
16. Tests et normes d'essais : Norme RTCA DO160 et Profils de mission en aéronautique. Par **Maria MAZUREK et Agnès KICHENIN – AIRBUS**
17. Tests et normes d'essais: Comité normatif DO160, par **Celine CARRIERE (LIEBHERR TS)**



Dossier partagé : [CFF - GT Humidité 2023-24](#)  
Accès auprès de [cff@nae.fr](mailto:cff@nae.fr)

## GT-Humidité – Saison 2 :

Réunions tous les 2 mois, depuis le 21 jan.-2025



## SAISON 2

2 rubriques :

- I. **TESTS DE FIABILITÉ (TESTS THB vs HAST, TEST HV-H3TRB, ...)**
  - > Evolution des tests de fiabilité électronique pour prise en compte de l'humidité
- II. **MODES & MÉCANISMES DE DÉFAILLANCE LIÉS À L'HUMIDITÉ (COMPOSANT) ET LES STRESSEURS COMPLÉMENTAIRES (TENSION, POWER CYCLING, CYCLES T°)**
  - > Description de mécanismes de défaillance liés à l'humidité

Un chef de projet :

**François BOUVRY**

[francois.bouvry.ext@nae.fr](mailto:francois.bouvry.ext@nae.fr)

Des référents techniques :

**Régis MEURET**

[regis.meuret@irt-saintexupery.com](mailto:regis.meuret@irt-saintexupery.com)

**Caroline RICHARD**

[caroline.richard@univ-tours.fr](mailto:caroline.richard@univ-tours.fr)

Une étude structurée et une équipe bien identifiée



# NRTW 2025

## National Reliability Technology Workshop

Mercredi 19 et Jeudi 20 mars 2025 | GANIL – Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

# merci pour votre écoute !

Organisé par :

