



# La fiabilité des composants et systèmes électroniques



université  
de BORDEAUX



Laboratoire de l'Intégration du  
Matériau au Système

→ Octobre 2017

# Présentation scientifique du groupe FIABILITÉ

## Organisation du groupe FIABILITÉ

- ▶ Le groupe Fiabilité est intégré dans le Pôle du Composant au Système et comporte deux équipes: PACE (Packaging Assemblage Compatibilité Electromagnétique) et PUISSANCE.

→ Orientations communes

→ Présentation thématique

→ Rayonnement et interactions

→ Evolutions et perspectives

# Organisation du groupe FIABILITÉ

## Personnels scientifiques

1 → Orientations communes

12 enseignants-chercheurs et  
1 ingénieur de recherche

université  
de **BORDEAUX**



15 doctorants en moyenne  
3 à 5 post-doctorants  
Stagiaires ....

# Organisation du groupe FIABILITÉ

## Orientation autour de concepts communs

## 2 → Orientations communes

- Fil conducteur : Fiabilité du matériau au système pour l'électronique embarquée
- Enjeux
  - Economie, Ecologie et Sureté de fonctionnement
- Contexte
  - Multi domaine (multi-physique, multi-temporel, multi-échelle et multi-matériaux)
  - Systèmes embarqués multitâches (multi-risques)
- Objectifs
  - maîtrise de l'interaction entre le dispositif et son packaging,
  - établissement de relations entre caractéristiques électromagnétiques (CEM) et fiabilité des composants et systèmes,
  - maîtrise de la robustesse des composants semi-conducteurs de puissance et des nouveaux systèmes de stockage d'énergie,
  - rédaction de nouvelles normalisations pour la qualification de composants ou systèmes dans un environnement donné,
  - développement de modèles de vieillissement et intégration de la fiabilité dans le processus de prototypage virtuel.
- Méthodologies
  - approche théorique par simulations multi-domaines,
  - approche expérimentale, par des caractérisations de matériaux, des assemblages et de leur vieillissement, pour paramétrer les modèles

# Organisation du groupe FIABILITÉ

## Orientation autour de concepts communs

## 3 → Orientations communes

- ▶ Plateforme de calcul pour la modélisation multi-physique et le prototypage virtuel et plateforme de vieillissement accéléré



#### ➤ Technologie des assemblages et composants à semi-conducteur de puissance

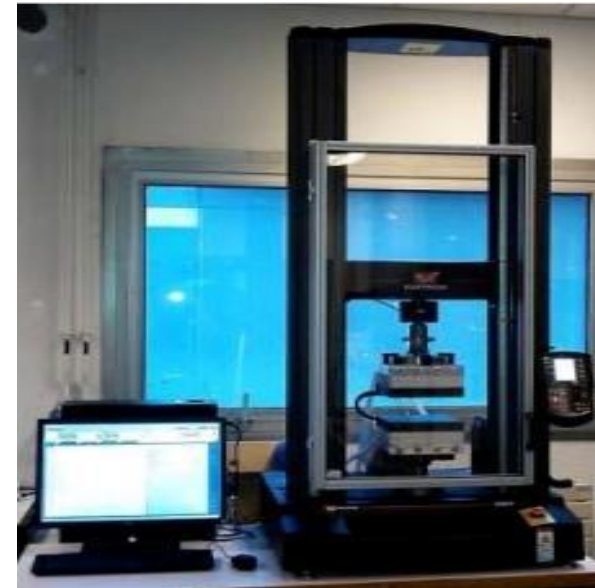
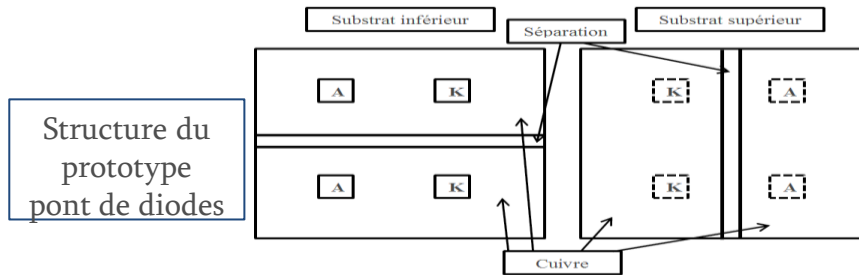
##### ➤ Résultats marquants

##### ➤ Verrous technologiques:

- Remplacement des alliages de brasage par des joints frittés
- Réalisation d'architecture 3D
- Réduction importante des inductances parasites

##### ➤ Résultat:

- Réalisation d'un prototype d'assemblage double face fonctionnel



- Technologie des assemblages et composants à semi-conducteur de puissance
  - Caractérisation électrique sous contrainte mécanique des puces de puissance
    - Indicateur de l'état mécanique des puces
    - Fiabilité prédictive
  - Impact sur la fiabilité globale de technologies innovantes améliorant les performance électriques de la puce
  - Perspectives
    - Réalisation d'un bras d'onduleur 3D
    - Gestion du vieillissement des modules de puissance en temps réel
    - Empilement de plusieurs puces entre deux substrats
    - Identification de vieillissement par signature thermique



#### ➤ Stockage d'énergie

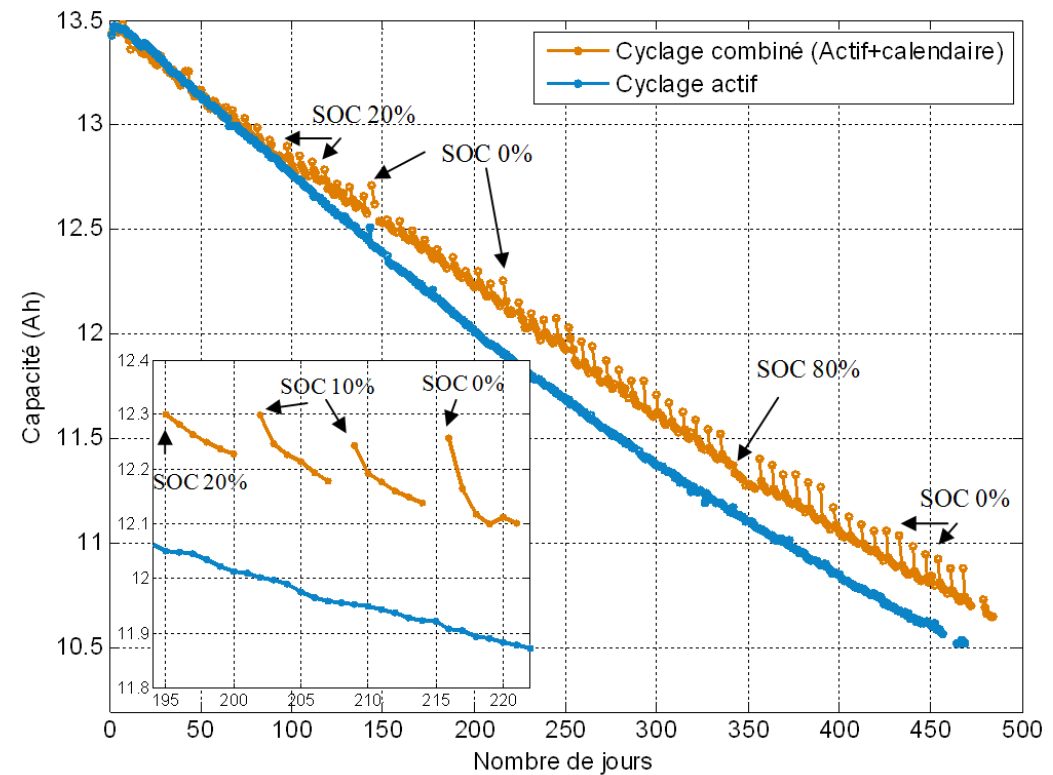
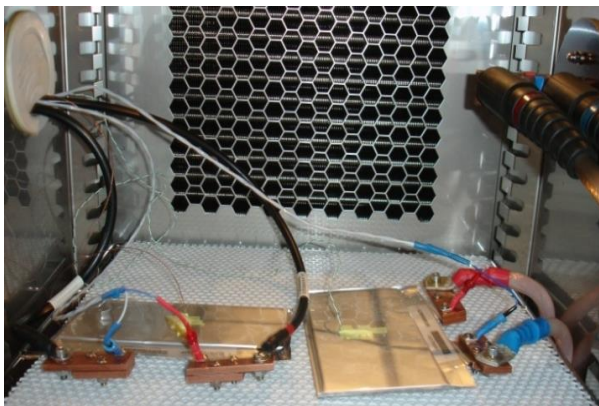
- Caractérisation et modélisation de l'élément de stockage supercondensateur et batterie
- Evaluation du vieillissement pour les différents modes (calendaire, cyclage actif, thermique, combiné) et modélisation – plateforme CACYSSEE
- Etude de l'interaction stockeurs-convertisseurs au cœur des nouvelles sources hybrides
- Résultats marquants
  - Quantification du vieillissement des supercondensateurs pour des conditions inédites et lien avec les mécanismes physico-chimiques
  - Elaboration d'une méthode inédite de détermination de l'état de santé d'une batterie lithium-ion
    - Exploitation de la phase de recharge à tension constante
    - Indicateur de la perte de lithium de l'élément
  - Résultat:
    - Dépôt de brevet
- Perspectives
  - Elaboration de stratégie pour prolonger la durée de vie des dispositifs de stockage d'énergie
  - Mise au point de protocoles d'évaluation de l'état de santé des systèmes de stockage
  - Extension au domaine de l'aéronautique et aux applications stationnaires multi-énergies



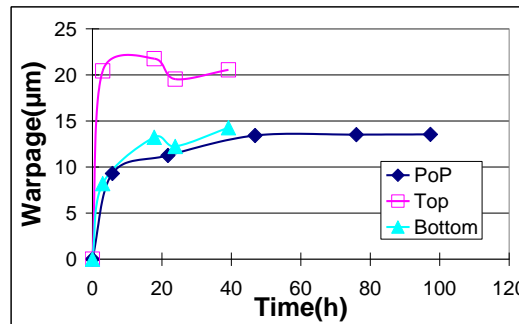
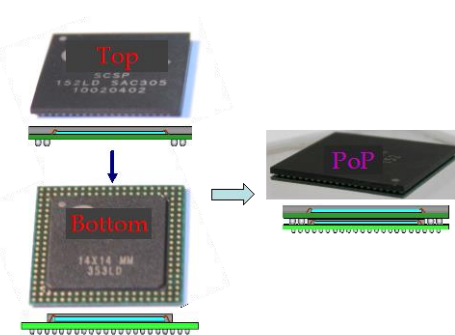
- Caractérisation et mise en évidence de la régénération d'un élément lithium-ion durant un essai comparatif de vieillissement



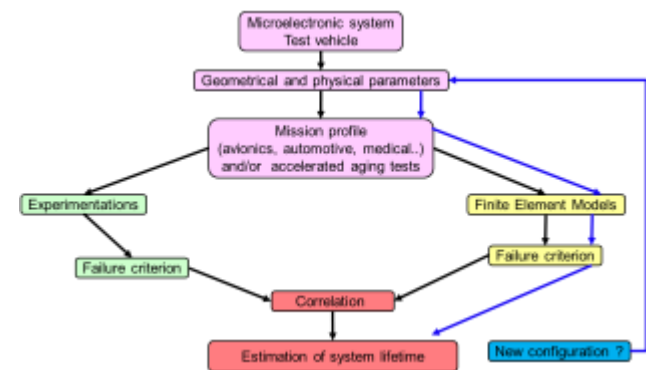
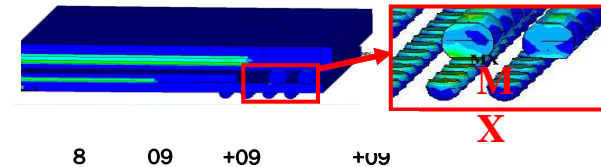
Test de cellules Kokam 12Ah (NMC)



- Packaging et assemblage :  valuation des mécanismes de défaillance, élaboration de modèles de prédiction de durée de vie et de facteurs d'accélération
  - Assemblages innovants
  - Nouveaux matériaux
  - Prise en compte des contraintes environnementales et de fonctionnement
  - Effet combinés : mécanique/humidité/ température ; densité de courant/température
  - Méthodologie combinant tests expérimentaux, modélisation, et simulation

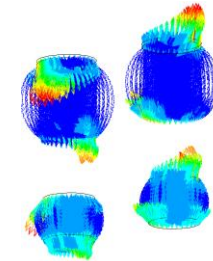
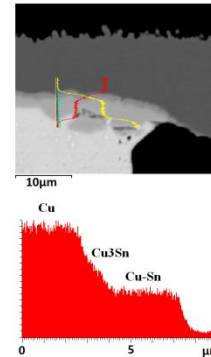
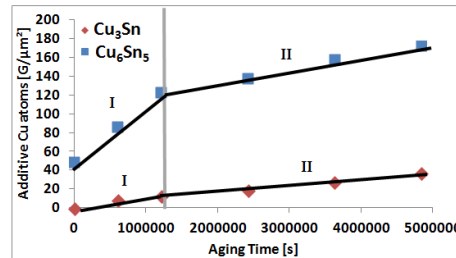
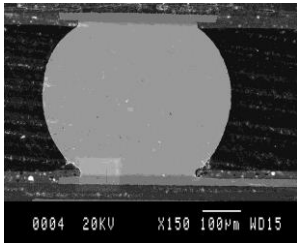


Maximum warpage (�m)	Thermal (20-90�C)	Moisture-induced (85�C 85%RH)
Top	17	21
Bottom	17	14
PoP	34	14



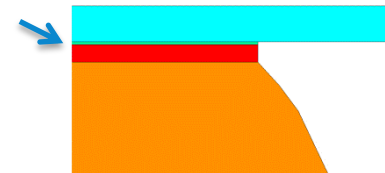
### ➤ Packaging et assemblage : résultat marquant

- Modèle de croissance de compos es intermétalliques dans les brasures
  - 1 ere étape :  valuation du modèle atomique de diffusion dans les métaux
  - 2 eme étape : détermination des constantes de diffusion par des tests de stockage à temperature élevée
  - 3 eme étape : dissociation des effets de l'électromigration et de la thermomigration



### ➤ Résultat:

- Modélisation de la croissance des intermétalliques due au vieillissement thermique ou à l'électromigration



### ➤ Packaging et assemblage : perspectives

- Prise en compte du vieillissement des matériaux dans les modèles, de l'évolution des microstructures, de l'émergence de trichites ...

Electromigration:

$$\vec{J}_{EM} = \frac{N}{k_B T} e (Z^+) \vec{j} \rho D_0 \exp\left(-\frac{E_A}{k_B T}\right)$$

Thermomigration:

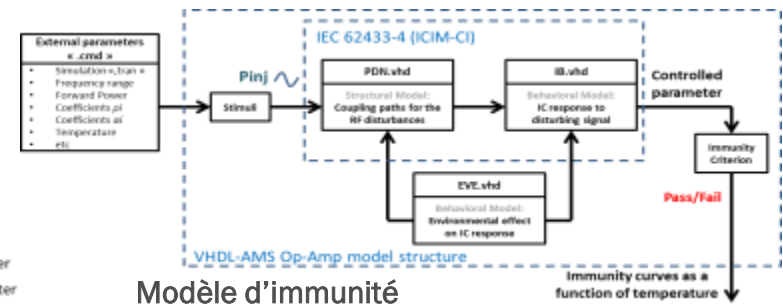
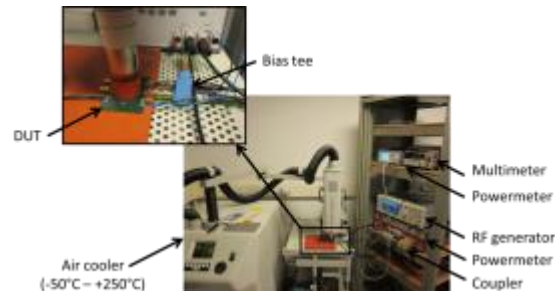
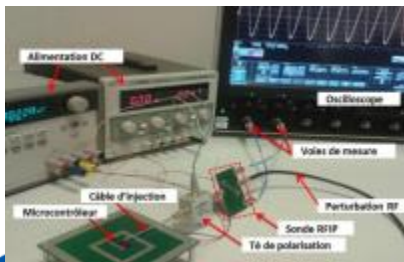
$$\vec{J}_{TM} = -\frac{N}{k_B T^2} (Q^*) D_0 \exp\left(-\frac{E_A}{k_B T}\right) \text{grad } T$$

Material accumulation:

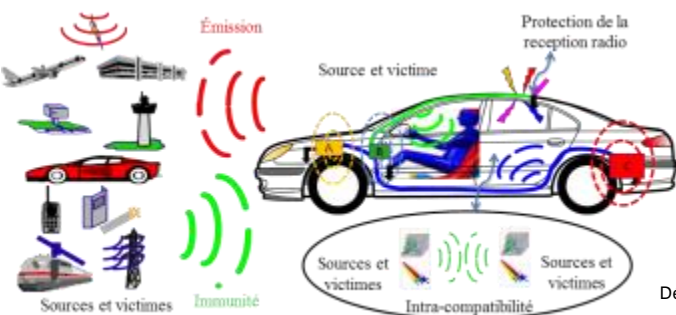
$$\vec{J} = D_0 N \left(\frac{-}{\beta}\right) \exp\left(-\frac{E_A}{k_B T}\right)$$

- Compatibilité électromagnétique (CEM) : Techniques de mesure et de modélisation de la CEM
  - Les phénomènes provoqués par les interférences électromagnétiques influencent la fiabilité des composants et systèmes
    - Développement de techniques de mesure de caractérisation CEM au niveau composant et carte électronique
    - Développement de modèles structurels et comportementaux pour simuler les caractéristiques CEM de composants et cartes électroniques
  - Résultats marquants :
    - Développement d'un modèle d'immunité conduite pour un convertisseur embarqué utilisé par Atmel Nantes
    - Développement de la technique de mesure RFIP permettant la caractérisation de l'immunité des circuits électroniques
    - Développement de modèles comportementaux permettant la prise en compte de l'obsolescence des composants dans la problématique CEM
  - Perspectives
    - Prise en compte de l'environnement et du vieillissement dans la problématique CEM : « fiabilité électromagnétique »

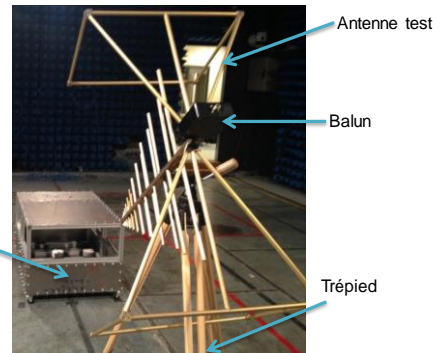
Bancs de caractérisation CEM



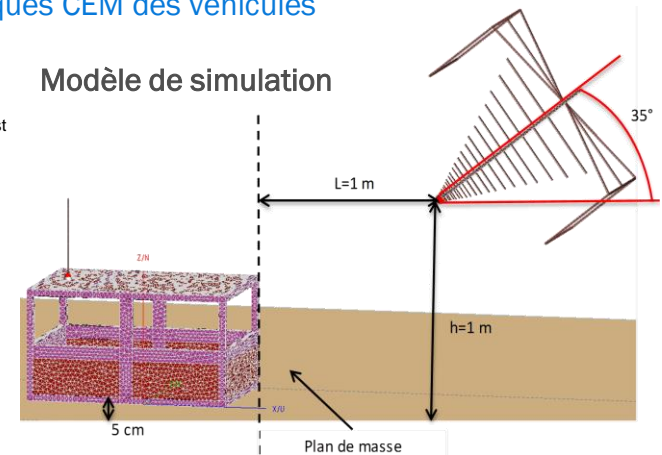
- ▶ **Compatibilité électromagnétique (CEM) : Impact des nouveaux matériaux sur la CEM**
  - ▶ Les nouveaux matériaux ont un impact important sur les caractéristiques CEM des équipements et systèmes électroniques
    - ▶ Mise en place de protocoles d'estimation de l'impact des matériaux composites sur la caractéristique CEM des véhicules (collaboration PSA)
    - ▶ Utilisation de nouveau matériau à permittivité élevée pour filtrage CEM au niveau composant et carte électronique
  - ▶ Résultats marquants
    - ▶ Développement d'un modèle de simulation permettant la prise en compte de l'introduction de matériaux composites multicouches à base de carbone sur les caractéristiques CEM des véhicules



Banc de mesure prototype



Modèle de simulation



### ▶ Perspectives

- ▶ Mise en place d'une méthodologie de prototypage virtuel pour la qualification CEM d'équipements et systèmes électroniques

- Production scientifique
- Brevet
  - Mise au point d'une technique originale de détermination de l'état de santé d'une batterie lithium-ion, brevet FR1359508.
- Organisation de conférences
  - Nationales : Journées scientifiques électronique du club EEA (2010, 2011, 2012, 2013), ANADEF (2014), BRAFITEC (2014), EPF (2012).
  - Internationales : EUROSIME (2010), ESSCAP (2010), ECPE Tutorial (2011), ESREF (2011, 13, 14).

The logo for EuroSimE, featuring the text "EuroSimE" in a stylized, orange-to-yellow gradient font with a slight shadow effect.

- Positionnement national et international, le groupe est précurseur dans les domaines:
  - Prise en compte des phénomènes multi-physiques dans l'évaluation de la fiabilité des assemblages micro et nano électroniques (travaux complémentaires de ceux effectués à IMEC ou IZM Berlin, et cotutelle de thèse avec Université de Hanovre).
  - Prise en compte de la compatibilité électromagnétique au sein des assemblages microélectroniques : inédit tant au niveau national qu'international dans le domaine de la fiabilité électromagnétique.
  - Réalisation et évaluation de durée de vie d'assemblages de puissance en utilisant des solutions alternatives aux alliages de brasage (expérience reconnue par la communauté Génie Electrique)
  - Développement de méthodologies d'évaluation de durée de vie des dispositifs de stockage d'énergie à supercondensateurs et précurseur international concernant notamment les batteries lithium – ion , travaux complémentaires à ceux effectués à IFSTTAR, Ampère (national), ISEA RWTH Aachen (européen), CALCE Univ. Maryland US, NREL Golden US (international).
- Attractivité
  - Recrutement de deux enseignants – chercheurs extérieurs (2010 et 2012)
  - Recrutement de 5 post-doctorants extérieurs
  - Chercheur invité (Univ. Stellenbosch)
  - Membres de jurys de thèses étrangers : Université de Portland (USA), Université de Hanovre, Université de Delft (Pays Bas), Cotutelle de thèse avec Université del Pais Vasco (Espagne).
- Expertises et participations aux comités (ANR et AERES)

- Environnement économique grand sud ouest
  - Implication dans des programmes labellisés AESE
    - SEISME, ASPEEC, CEPIA, CAPTIF ...
  - Participation au Domaine d'Action Stratégique : Système de Stockage d'Énergie du pôle MOVEO
  - Participation au projet IRT Saint Exupéry
- Environnement économique régional
  - Partenariat avec la société MICROSEMI Power Modules Product (Bruges)
  - Partenariat avec la société SERMA Technologies (Pessac)
- Diffusion culture scientifique
  - Cap Sciences : la recherche made in Aquitaine
    - « Ils améliorent la fiabilité des systèmes embarqués »
- Partenariats nationaux:
  - CEA , ST Microelectronics, Schlumberger, Renault, PSA
- Partenariats internationaux :
  - H2020 CATRENE, ANR PRCI (Hanovre, Hong Kong)
  - Université Sherbrooke, Université Binghamton





- Expertise scientifique :
  - **Modélisation multi-physique, multi-échelle et multi-domaine** des composants et systèmes électroniques.
  - **Détermination et intégration de lois de vieillissements** dans les modèles
  - **Développement de techniques expérimentales de caractérisation**
- Applications innovantes
  - **Technologies d'assemblages** : modules de puissance 3D, dispositifs à haute densité d'intégration
  - **Robustesse des composants et systèmes**: transistors de puissance sous régimes extrêmes, signature thermique, topologies de récupération d'énergie intégrant du stockage d'énergie
  - **Systèmes de stockage d'énergie** : nouvelles sources hybrides, détermination de l'état de santé des batteries par le système de recharge, prise en compte dans la stabilité réseau et micro-réseau
  - **Interactions puce-boîtier** : environnement sévère
  - **Fiabilité électromagnétique**: évolution des caractéristiques CEM au cours du temps

MERCI !

