



## Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/>  
Eprints ID: 10578

**To cite this version:**

Dienot, Jean-Marc and Ramos, Ioav and Vidal, Paul-Etienne and Viguiier, Christophe and Nogarède, Bertrand and Batista, Emmanuel *Investigations multi physiques et expérimentations virtuelles des cas de bruits électromagnétiques et d'interactions champ proche dans les systèmes mobiles et mécatroniques*. In: Assemblée plénière "Interférences d'Ondes", GDR Ondes, 28 October 2013 - 30 October 2013 (Dijon, France)

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: [staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr](mailto:staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr)

# Investigations multi physiques et expérimentations virtuelles des cas de bruits électromagnétiques et d'interactions champ proche dans les systèmes mobiles et mécatroniques.

J.M. Dienot<sup>1,2</sup>, I. Ramos<sup>1,3</sup>, P.E. Vidal<sup>1</sup>, C. Viguier<sup>3</sup>, B. Nogaredo<sup>3</sup>, E. Batista<sup>4</sup>

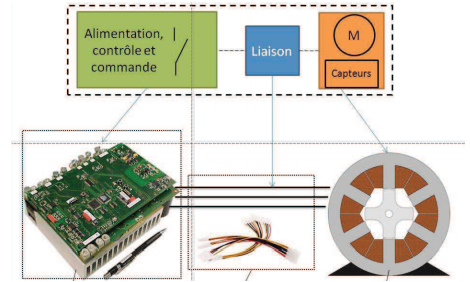
**Contexte:** L'intégration de fonctions et de modules électroniques de plus en plus compacts et performants dans les systèmes mobiles entraîne de nouvelles problématiques d'interactions Electromagnétiques et Multi-physiques, pouvant modifier l'intégrité des missions électriques du système.

Nous travaillons sur ces aspects par une approche mixte visant à traduire ces effets par des investigations électromagnétiques, multi-physiques et électroniques (Expérimentation Virtuelle).

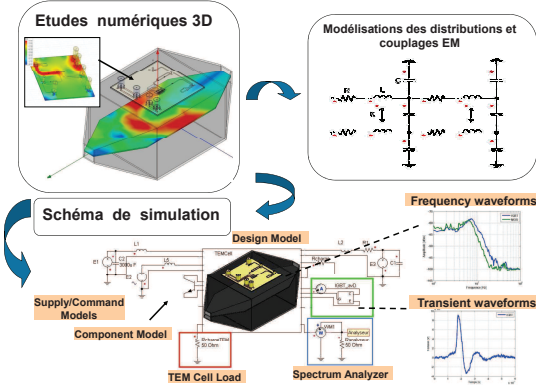
Deux principaux aspects CEM dans les systèmes électroniques actuels sont présentés, incluant l'impact de l'environnement interne, comme la température:

-l'évaluation du bruit électromagnétique, du principalement aux commutations des différentes technologies de composants et de module de puissance utilisés dans les systèmes mécatroniques.

-l'immunité et la sensibilité des circuits et modules de contrôle et commande, fonctionnant principalement avec des formats PWM. (Pulse Width Modulation)



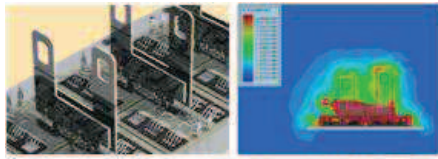
## Approches théoriques et stratégies de simulation EMI/EMC/Couplages



- Une stratégie de modélisation "eXpérimentation Virtuelle des Interférences et Couplages EM" sert à générer des bibliothèques de modèles électriques tridimensionnels.
- La modélisation par blocs/briques EM (PEBB) permet une flexibilité et une adaptation souple vis-vis des impacts de la technologie, des paramètres 3D et de l'environnement physique.
- Différentes analyses numériques, basées sur une description 3D fine et des solveurs appropriés à la problématique considérée:
  - Méthodes Eléments Finis: géométries complexe, différentes interfaces, conducteurs et isolants.
  - Méthode des Moments: distribution du flux et des courants, géométries asymétriques.
  - Full Wave Partial Element Equivalent Circuit (PEEC): permet le lien entre les distributions électromagnétiques dans la structure et des éléments répartis à dimensions finis (Matrices  $rlc$ )
- Les schémas de modélisation électrique équivalent sont implémentés dans des simulateurs circuits dits multi-domaine (langage VHDL-AMS), permettant la connexion aux excitations nominales.
- L'Influence et les tendances des modifications technologiques et physiques peuvent être répercutées soit en changeant les propriétés 3D des objets, soit par identification et modification des paramètres électriques dans les matrices du schéma.
- Les réponses Transitoires et Fréquentielles réalistes et pertinentes sont accessibles jusqu'aux nœuds externes et internes de la structure.

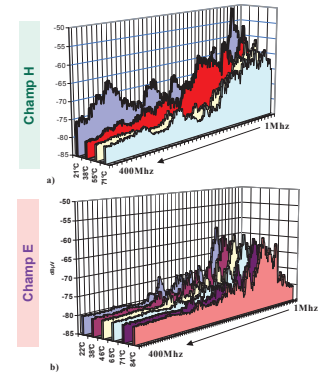
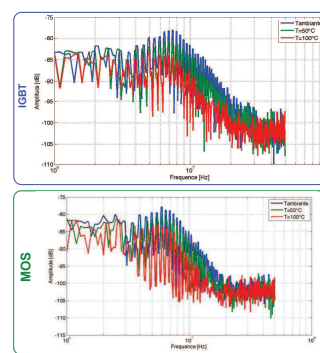
## Applications et résultats de comportements électromagnétiques internes et externes – prise en compte de l'impact de la température

### Exemple #1 : Etude du bruit électromagnétique de module de puissance en technologie hybride.

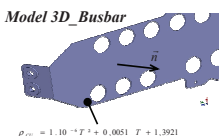


**Puissance de commutation: 2kW crête**  
**Pics d'émission observés jusqu'à 115 MHz**  
**Niveau de champ le plus critique: 10,35 V/m à 1 m**

### Exemple #4 : Etude du bruit électromagnétique en fonction de la température



### Exemple #2 : Etudes et simulations des niveaux de champ magnétique d'un Busbar – différentes températures d'agression



Temperature range : 0 à 150 C  
 Evolution of the conductivity  $\sigma(T)$

Modification of the current densities  $\vec{J}(T) = -\sigma(T) \cdot \vec{V}$

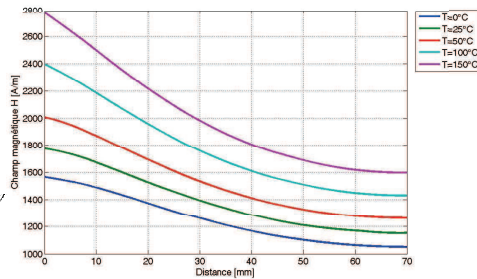
Variation of the value of electrical equivalent parameters :

$$R_s(T) = \int \vec{J}_s(T) \cdot \vec{J}_s(T) \, dv$$

$$L_s(T) = \int \vec{A}_s(T) \cdot \vec{J}_s(T) \, dv$$

Impact on the skin effect :

$$\delta(m, T) = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma(T) \mu_0 \mu_r}}$$



**Les niveaux de rayonnement (champ proche) sont dépendants de la température ambiante**

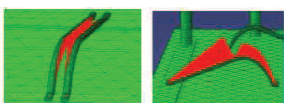
#### Cas des composants de puissance:

- le pic d'émission maximale varie fortement
- 10 dB pour une augmentation de T° de 80°
- L'IGBT est plus sensible que le MOSPower, aux effets d'agression externe en température

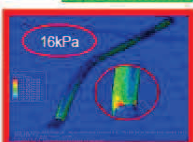
#### Cas des composants de commande (Driver, FPGA)- motifs PWM

- Forte gamme de fréquence de bruit: 500MHz- 1,6 GHz
- "Étalement" de la puissance de bruit EM avec la température
- Variations plus importantes en Champ H (fig a.)

### Exemple #3 : Etude des interactions electro-mécaniques entre Wires dans les modules de puissance



Electromagnetic force applied and mechanical stress induced



Wire current (A)	X (micrometers)	Y (micrometers)	Z (displacement) (um)
2.5	0	1	2
5	0.75	1.5	3
7.5	1	2	4.5
10	3	3.75	7
12.5	4.5	6	13

**Les densités de courant induisent un stress mécanique : les fils de bonding se déplacent**

### Exemple #5 : Etude des cas de susceptibilité et d'immunité des modules de commandes en PWM

- Différentes agressions type pulsées et harmoniques ont été réalisées sur les signaux de commande type PWM (cibles PCB, CPLD, FPGA)

#### Principaux résultats

- En mode pulsé, des tensions crêtes de 160 V générées à 30 cm entraînent un défaut (Reset)
- En mode rayonné (harmonique), tous les critères de défaut sont activés dans une bande de 120MHz à 450 MHz
- Sous contrainte en température (65°), le seuil de susceptibilité est abaissé de 20 dB par rapport à la T° ambiante

