



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: 19748

To cite this version:

Diénot, Jean-Marc *Nouvelles problématiques EMC/EMI liées à l'intégration embarquée des architectures de puissance: aspects des émissions large-bande, des couplages champ proche et des impacts de la température.* (2017) In: ASSEMBLEE GENERALE GDR ONDES-CNRS, 23 October 2017 - 25 October 2017 (Sophia-Antipolis, France). (Unpublished)

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

NOUVELLES PROBLÉMATIQUES EMC/EMI LIÉES À L'INTÉGRATION EMBARQUÉE DES ARCHITECTURES DE PUISSANCE

**ASPECTS DES ÉMISSIONS LARGE-BANDE, DES COUPLAGES
CHAMP PROCHE ET DES IMPACTS DE LA TEMPÉRATURE**

Jean-Marc DIENOT

Institut de Technologie, Université P. Sabatier, France

jm.dienot@iut-tarbes.fr

ABSTRACT - CONTEXTE

Depuis plusieurs années maintenant, les développements des architectures d'électronique de puissance pour la génération, la conversion et le contrôle de l'énergie électrique sont tournées vers des applications mécatroniques et embarquées comme les avions, les véhicules électriques ou hybrides, la robotique, la domotique, les implants corporels humains....

Ces nouvelles structures bénéficient des avancées dans les technologies des composants semi conducteur et de leurs packagings, permettant des techniques d'intégration et de réduction des volumes pour des performances de conversion électriques et de rendement équivalentes voire supérieures. Dans les convertisseurs de puissance utilisés dans les ensembles mécatroniques, l'augmentation de la fréquence et la réduction des temps de commutation ont permis de réduire considérablement la masse et le volume des éléments de filtrage et de refroidissement. Mais ces stratégies ont également induites et favorisées des problèmes complexes comme des difficultés d'extraction de chaleur ou de nouvelles problématiques d'interactions et de compatibilité électromagnétique (CEM), apparues lors du développement et de la mise en œuvre des ces applications.

Nous présentons un état de l'art, non exhaustif, des travaux de recherche et développement menées ces dernières années autour de trois de ces nouveaux aspects CEM :

La modification et l'élargissement en bande de fréquence des émissions conduites et rayonnées des convertisseurs de puissance

l'augmentation des interactions et risques de couplages en champ proche E ou H entre les éléments électroniques des structures de puissance

l'impact non négligeable de la température interne et externe, inhérente au fonctionnement nominal des systèmes, sur les performances CEM, émission et immunité, et leurs dégradations en temps réel ou sur la durée de vie du système électronique.

Nous montrons comment ces aspects ont entraînés de nouvelles approches de caractérisation, de modélisation et de simulation orientées CEM, et modifient fortement le spectre d'analyses théoriques et les méthodes d'investigations des études CEM actuelles et à venir.

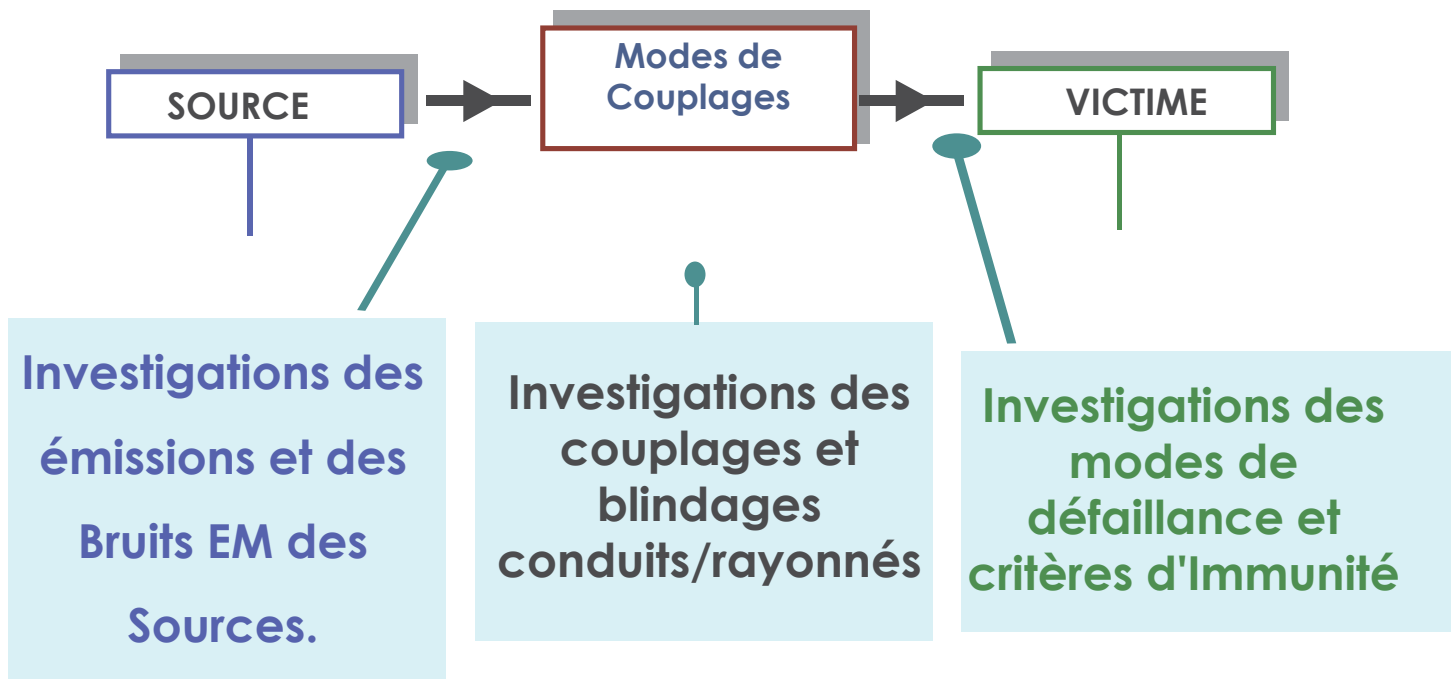
SOMMAIRE

- INVESTIGATIONS EMI/EMC AU NIVEAU CIRCUIT ET MODULE ÉLECTRONIQUE
- LES IMPACTS EMC DES TECHNIQUES D'INTÉGRATION DES ARCHITECTURES DE PUISSANCE
- ASPECT DES ÉMISSIONS LARGE-BANDES CONDUITES ET RAYONNÉES
- ASPECT DES COUPLAGES EM INTERNES ET EXTERNES
- IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT EMBARQUÉ CONTRAINT: EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE
- CONCLUSIONS

FORMALISME DES INVESTIGATIONS EMC/EMI

EMC: ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

EMI : ELECTROMAGNETIC INTERFERENCES



FORMALISME DES INVESTIGATIONS EMC/EMI

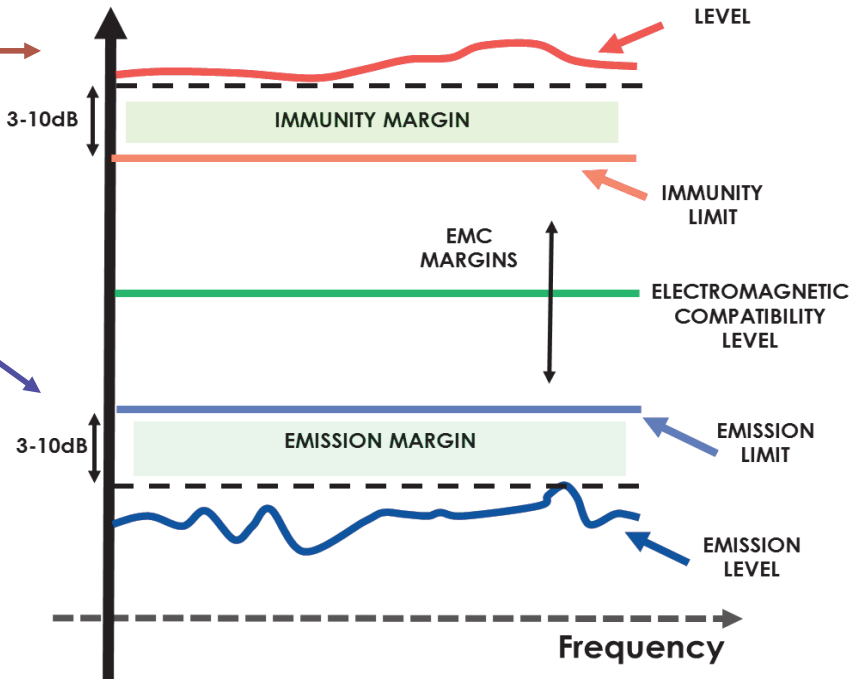
EMC Figures

Susceptibility/Immunity:
Electronic defaults among
Frequency and Pulsed/RF
Aggression Levels

Emission spectrum
Conducted and Radiated Power
Levels among Frequency during
Electronic activity

EMC physical value	Symbol	Unity	Associate Unity
Voltage	U or V	Volts(V)	$dB_V: 20 \cdot \log(V)$ $dB_{\mu V}: 20 \cdot \log(V/10^{-6})$
Current	I	Ampere(A)	$dB_A: 20 \cdot \log(I)$ $dB_{nA}: 20 \cdot \log(I/10^{-9})$
Electric Field	E	Volt by meter(V/m)	$dB_{V/m}: 20 \cdot \log(E)$ $dB_{\mu V/m}: 20 \cdot \log(E/10^{-6})$
Magnetic Field	H	Ampere by meter(A/m)	$dB_{A/m}: 20 \cdot \log(H)$ $dB_{nA/m}: 20 \cdot \log(H/10^{-9})$

Perturbation Level



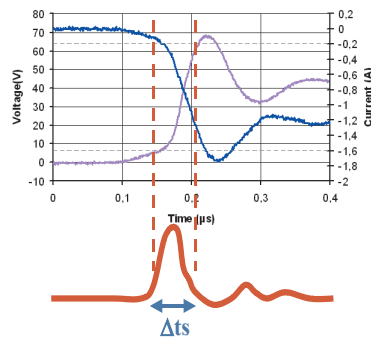
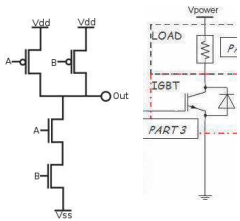
EMC rules and standards

ex: Computers at 1GHz, $E < 37 dB_{\mu V/m}$

INVESTIGATIONS EMC AU NIVEAU CIRCUIT /PCB

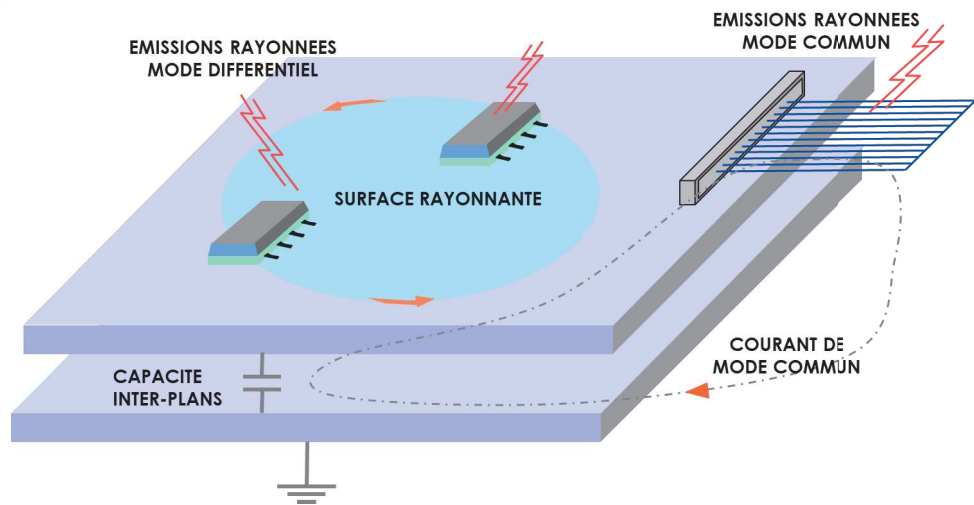
EMISSION DES SOURCES ÉLECTRONIQUES - BRUIT EM - PRINCIPES

Switching Circuits



- $F_{equiv} \approx 0,35 / \Delta t_s$
- $\lambda = v / F_{equiv}$
- $V = 3.10^8 / \sqrt{(\epsilon_R \mu_R)}$

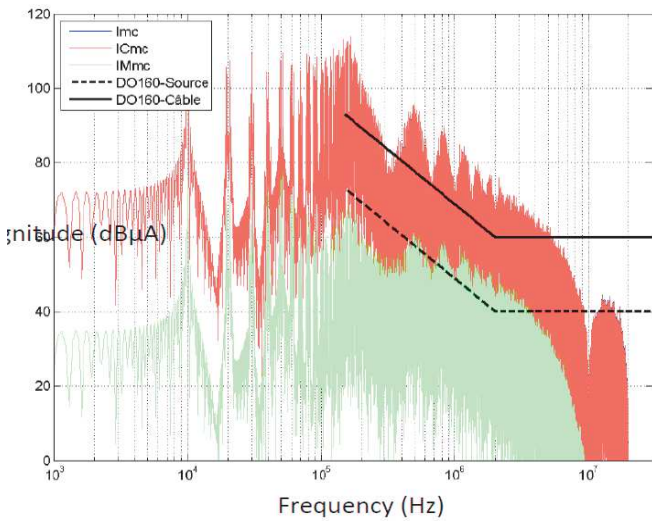
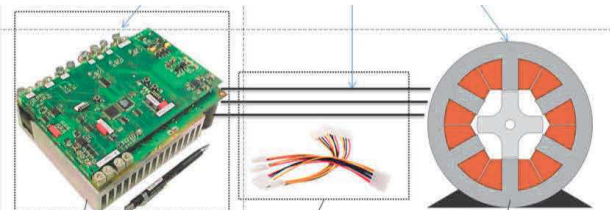
- Energy / Dissipation Puissance pendant t_s
- Oscillations en Mode Conduit à partir de $\lambda/10$
Mode différentiel - Intégrité des Signaux
Mode Commun - Réseau Alimentation PCB
- Oscillations en Mode Rayonné à partir de $\lambda/4$
 $\Delta V/dt \rightarrow$ génération Champ Electrique E
 $\Delta I/dt \rightarrow$ génération Champ Magnétique H
- Mode Rayonné Champ EM à partir de $\lambda/2\pi$
 $dP(W/m^2) = E_{eff} * H_{eff} \equiv freq.^4$



INVESTIGATIONS EMC AU NIVEAU CIRCUIT /PCB

EMISSION DES SOURCES ÉLECTRONIQUES – MODE CONDUIT & BRUIT EM DES COMMUTATIONS

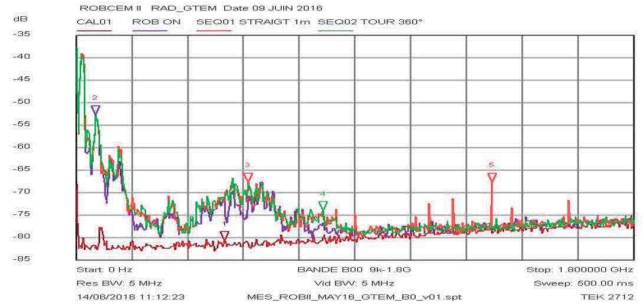
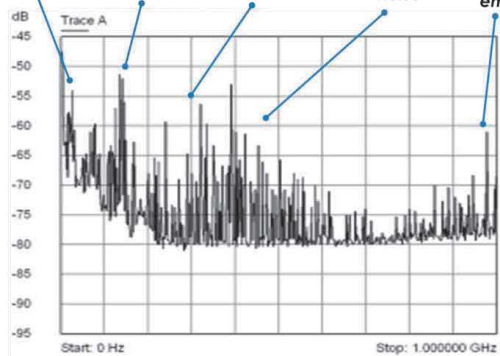
Courant de Mode Commun d'un système mécatronique



Spectre de rayonnement d'un système mobile autonome ($f_0 = 1\text{kHz}$)



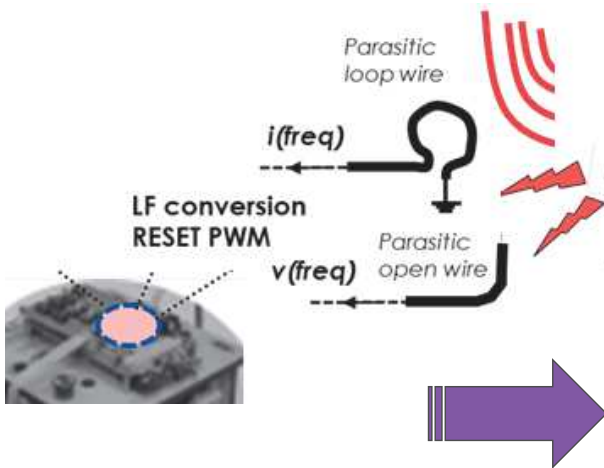
LF harmonics of motors
PowerMOS converter switching noise
Medium power driver switching noise (Bipolar)
CMOS IC switching noise
RF chip harmonic emission



INVESTIGATIONS EMC AU NIVEAU CIRCUIT /PCB

SUSCEPTIBILITÉ ET IMMUNITÉ DES COMPOSANTS ET DES CIRCUITS - PRINCIPES

Agressions Conduites et EM (Tests d'immunité)



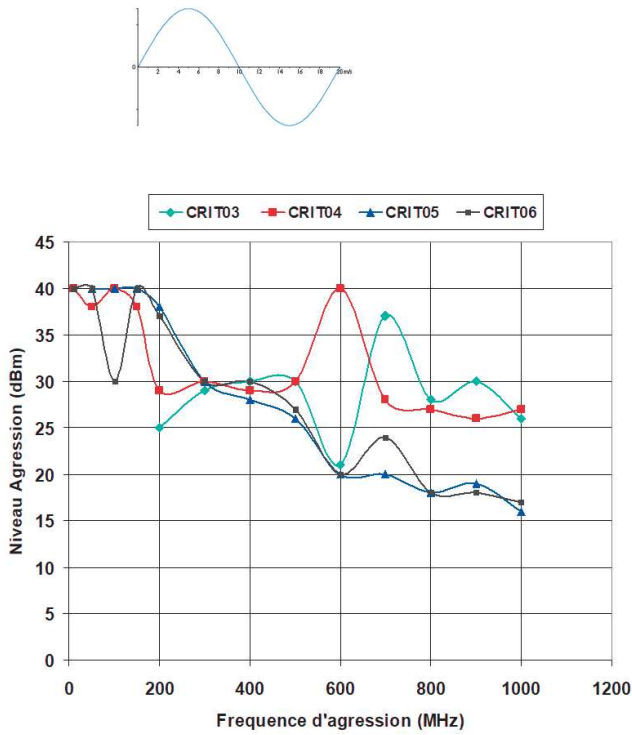
Dérives et défauts des signaux et composants = Susceptibilité

	ANALOG ELECTRONIC	DIGITAL ELECTRONIC	POWER ELECTRONIC
Noises on nominal signal	▼		
AGC in saturation	▼		
Motor moves	▼	▼	▼
Lost of information in RAM		▼	
Component Reset		▼	▼
Latch-up power on/off	▼	▼	▼
Bit error		▼	
System Switch Off		▼	▼
Semiconductor destruction	▼	▼	▼
Accumulator destruction			▼

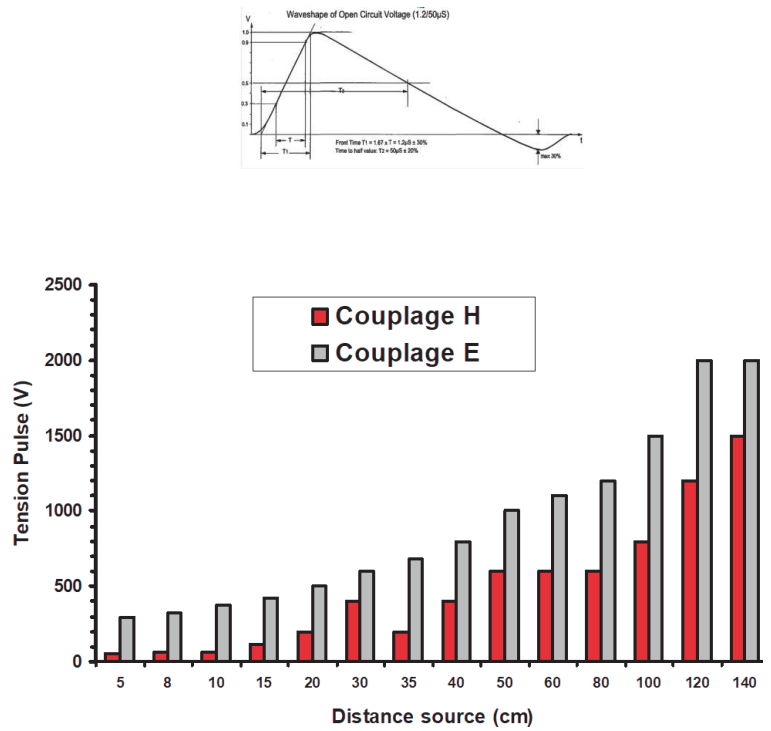
INVESTIGATIONS EMC AU NIVEAU CIRCUIT /PCB

SUSCEPTIBILITÉ ET IMMUNITÉ DES COMPOSANTS ET DES CIRCUITS - EVALUATIONS

Courbe d'immunité en agression Harmonique



Courbe d'immunité en agression Transitoire/pulsée



INVESTIGATIONS EMC AU NIVEAU CIRCUIT /PCB/SYSTÈMES

DESIGN LEVEL

Semi-conductor Chip



Packaging Integrated Circuit (IC)



Printed Circuit Board (PCB) Cabling



Portable Electronic Device (PED)



Mobile Mechatronic System



Transport Equipment Large System



Freq. Band	300GHz	EHF	30 GHz	SHF	3GHz	UHF	300MHz	VHF	30MHz	HF	3MHz	MF	300kHz
λ	1mm		10mm		10cm		1m		10m		100m		1km
$\lambda/4$	250 μ m		2.5mm		2.5cm		25cm		2.5m		25m		250m
NF Frontier	159.1 μ m		1.59mm		1.59cm		15.91cm		1.59m		15.91m		159.1m
$\lambda/10$	100 μ m		1mm		1cm		10cm		1m		10m		100m

EMC LEVEL

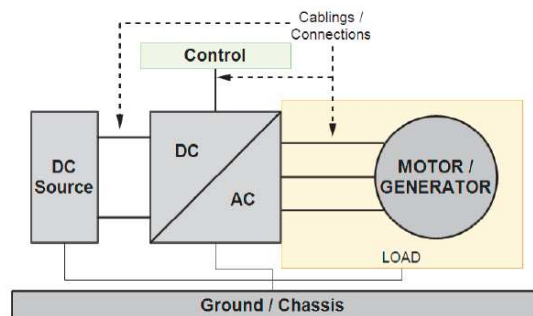
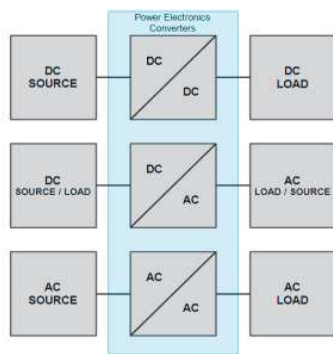
Compatibilité / interférences intra-systèmes

Compatibilité / interférences inter-systèmes

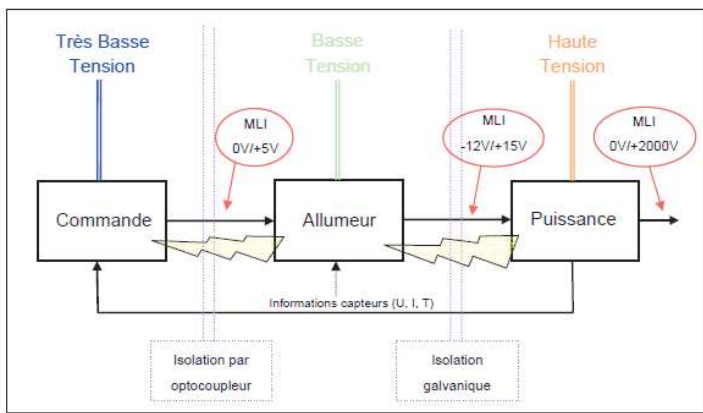
IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

SYNOPTIQUE DES ARCHITECTURES DE PUISSANCE

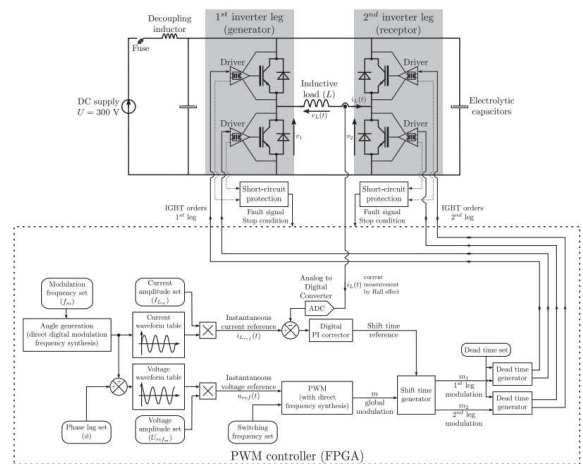
Différents types de conversion



Architecture d'un convertisseur alimentant un moteur



Implantation schématique des différentes gammes de composants électroniques dans une chaîne de conversion

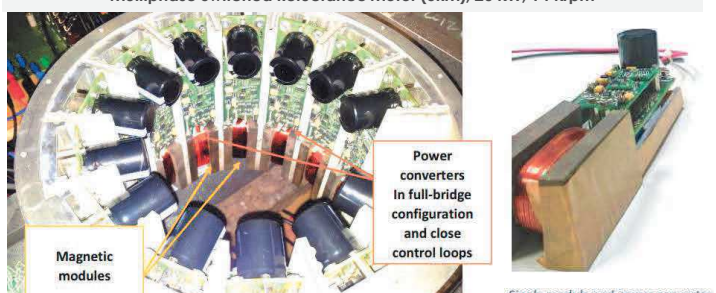


Exemple d'architecture convertisseur commande (FPGA) - [Forest 06]

IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

ARCHITECTURES DE PUISSANCE EMBARQUÉES – DIFFÉRENTES APPLICATIONS

Multiphase Switched Reluctance Motor (SRM), 20 kW, 14 krpm

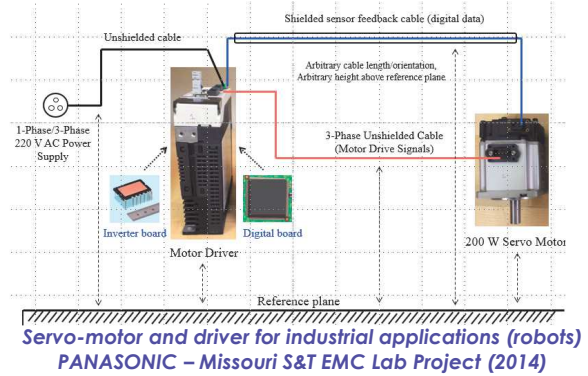



Magnetic modules


Power converters in full-bridge configuration and close control loops

Single module and power converter

Motorisation Electrique Haute Vitesse - NOVATEM ©

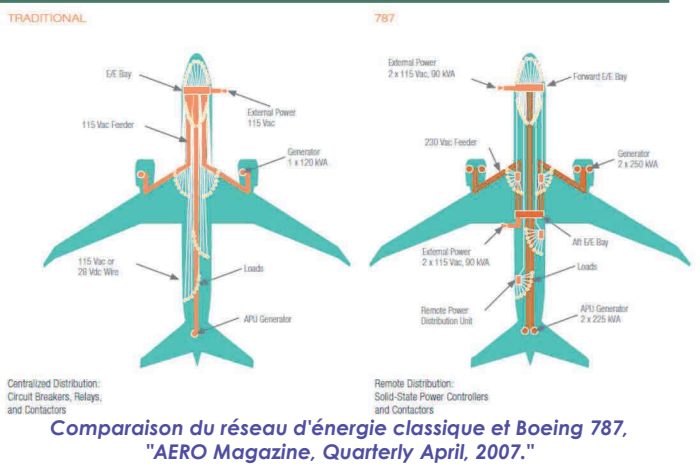



1. Gasoline engine
2. Electric motor (15 kW / 210 Nm)
3. High voltage electronics (up to 1,200 V), directly mounted to the transmission box
4. Automatic transmission
5. Lithium-ion battery (120 V)



- power control unit
- engine
- power split device
- generator
- motor

Exemples d'implantation de convertisseurs dans les véhicules Electriques – Hybrides (BMW – TOYOTA)

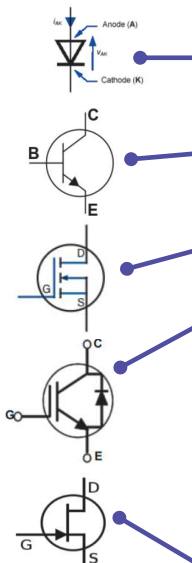


IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

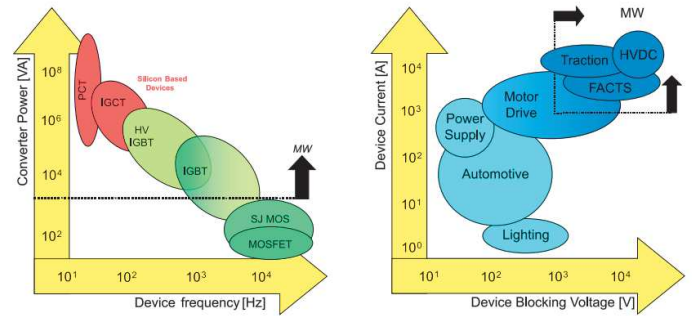
EVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE DES COMPOSANTS DE PUISSANCES

F. Costa and C. Voltaire, "Caractéristiques et évolution du bruit électromagnétique dans les dispositifs d'alimentation embarqués sur avionnet," Congrès CEM 08, p.8, 2008

Backlund, B.; Rahimo, M.: "High Voltage Bipolar Semiconductor Technologies", Bodo's Power Systems, 12/2009, pp. 34-36

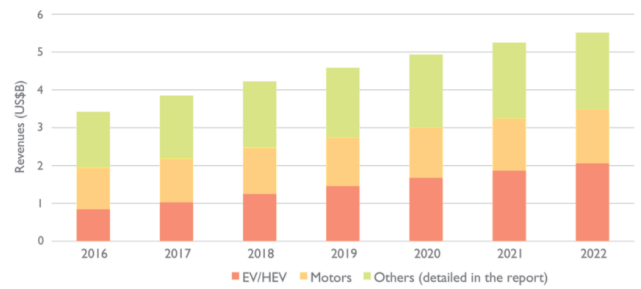


Ans	Interrupteurs	calibres	Fréq.	dV/dt, di/dt
1970	Thyristors, Diode de puissance	3kV, 3kA	100Hz	1kV/μs 100A/μs
1980	GTO ¹ , Transistors bipolaires, Diodes rapides	3kV, 3kA, 100A, 1kV	300Hz, qqes kHz	10kV/μs, qqes 100kA/μs
1985	MOSFET	50A, 1000V	qqes 100kHz	qqes 10kV/μs, qqes kA/μs
1990	IGBT ²	100A, 1000V	qqes kHz	qqes 10kV/μs, qqes kA/μs
2000	COOLMOS	50A, 600V	qqes 100kHz	qqes 10kV/μs, qqes kA/μs
2000	IGBT (réseau 400V)	100A, 1.2kV	10-100 kHz	qqes 10kV/μs, qqes kA/μs
2003	TrenchMOS	50A, 25V	1MHz	qqes 10kV/μs, qqes kA/μs
2005	IGBT (traction)	100A, 6kV	qqes kHz	qqes 100kV/μs, qqes 10kA/μs
2005	Diodes Schottky SiC	10A, 600V	qqes 100kHz	
2010	JFET SiC IGBT SiC	10A, 1200V	qqes 10-100 kHz	qqes 100kV/μs, qqes 10kA/μs



Total IGBT market evolution by application for 2016-2022

(Source: IGBT Market and Technology Trends 2017 report, Yole Développement, August 2017)



IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

EVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE DES COMPOSANTS DE PUISSANCES – COMPOSANTS "GRAND GAP"

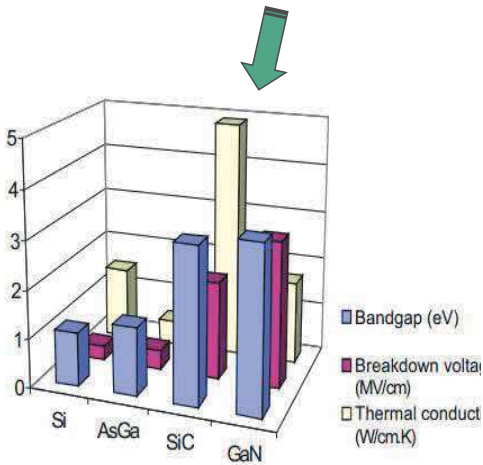
Si : Silicium (Silicon)

AsGa : Arséniure de Gallium (Gallium Arsenide)

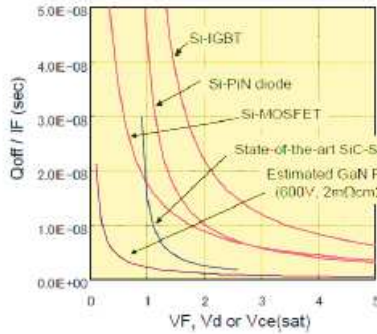
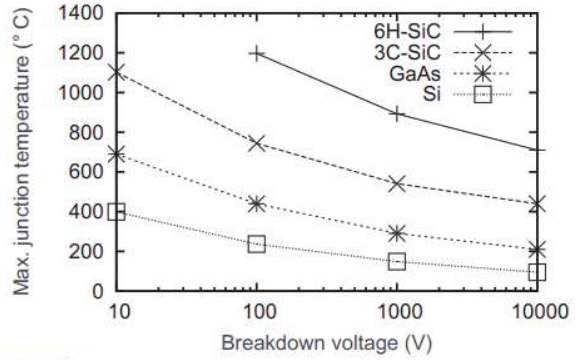
SiC : Carbure de Silicium (Silicon Carbide)

GaN : Nitrure de Gallium (Gallium Nitride)

W. Wondrak. Physical limits and lifetime limitations of semiconductor devices at high temperatures. Microelectronics Reliability, vol. 39, no. 6-7, pages 1113-1120, Jun.-Jul. 1999.



S. De Meyer. PhD thesis, Université de Limoges, 2005.



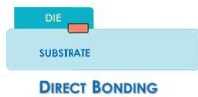
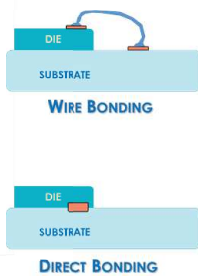
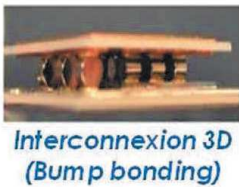
In PhD Thesis of I. Ramos-Chavez, 2016, p. 20.

$\Delta V \uparrow$ Haute Tension
 $\Delta t \downarrow$ Hautes Fréquences
 $T^\circ \uparrow$ Haute Température

IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

EVOLUTION DES TECHNIQUES DE PACKAGING – CONNECTIQUES DE PUISSANCE

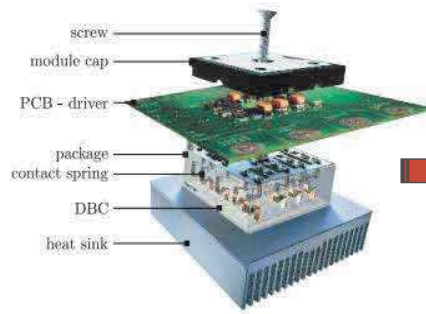
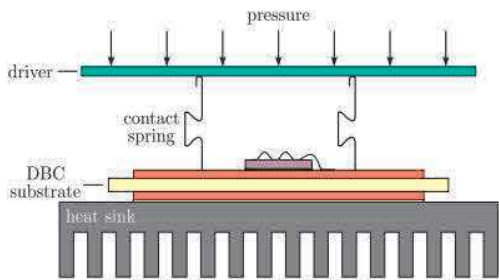
1 : nouvelles techniques hybrides d'intégration



Les différentes techniques de report des puces

- rlc (modèle TLM) modifié
- C et L couplages ↑
- Capacité de Mode Commun ↑

P. Beckedahl & T. Grasshoff. Control the Future. New alternative materials and concepts for power Electronics. ElektronikPraxis electronics magazine, 2006.



Exemple d'un assemblage module de puissance – DBC – PCB Driver - Radiateur

- Impédance Commune ↑
- Radiateur = "Radiator"
- Couplages EM ?
- Plans Metalliques = Cavité resonante?

IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

EVOLUTION DES TECHNIQUES DE CONNECTIQUES DE PUISSANCE

2 : Nouveaux boîtiers/packaging: Smart Power, Gestion thermique



Câblage de puissance/ Boîtiers & modules

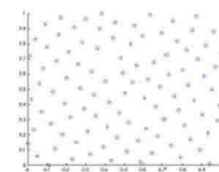
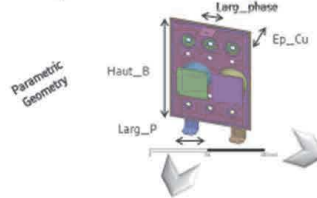


Câblage de puissance/ Torons

Câblage de puissance/ Busbar

• The best busbar 3D geometry

- Optimisation Example

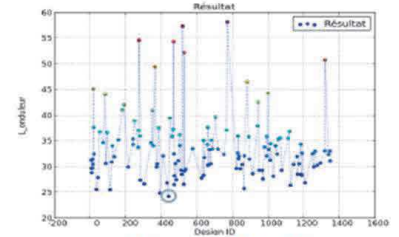


Example of Latin Hypercube DOE
As « Virtual » Design Of Experiment
To explore the conception domain

Use of Artificial Intelligence with Optimisation algorithms as:
MOGA: Multi Objective Genetic Algorithm (*discrete variables*)
NSGA II: Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (*continue variables*)
Simplex: (*discrete & continue variables, mono-objective only*)

Exploration of 1400 designs

- ≈ 2 days of computation
- HPC licences & Workstation (75GB RAM 8 cores)



Inductance vs Design ID

TRANSPORT | ALSTOM

E. Batista – ALSTOM, Workshop "EMIC in FSW", EUROEM'2012, Toulouse.

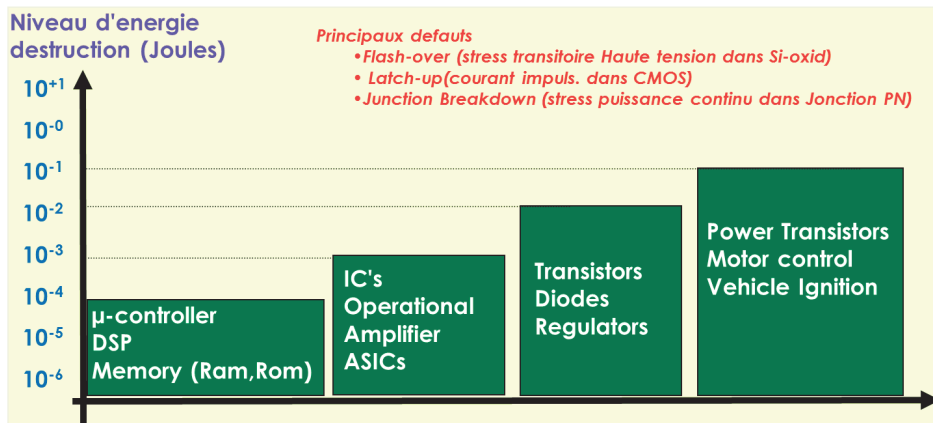
- Impédance de transfert (Z_T)?, Inductances de Boucle à réduire.
- Fortes contraintes électriques : densités de courants \uparrow , décharges partielles \uparrow (Bobinages)
- Températures/vieillessement/fiabilité : modifications des impédances et des diélectriques

IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

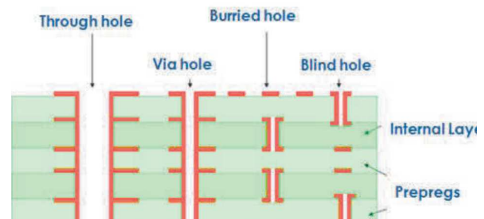
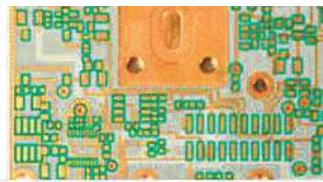
EVOLUTION DES TECHNOLOGIES DES PARTIES DRIVERS ET COMMANDES

- faibles niveaux de commutations, bande passante ↑, contrôles précis des synchronisations, multiplexages / modulations complexes → FPGA

Niveaux de sensibilité des
Electroniques de
commandes/protections

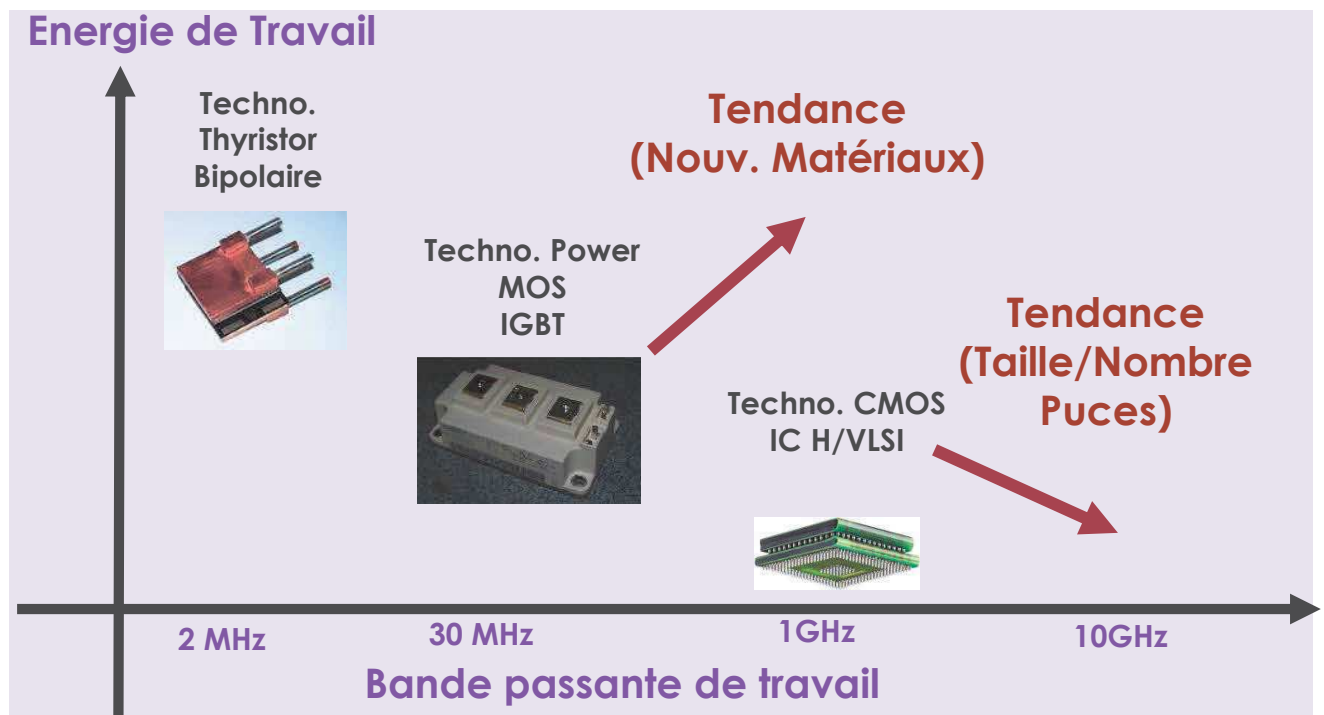


PCB Multicouches
Haute densité d'intégration
Alimentations multi niveaux
(Analogique/Numérique/Power)



- Allumeurs, Drivers, commandes PWM : Eléments sensibles du dispositif de puissance

IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

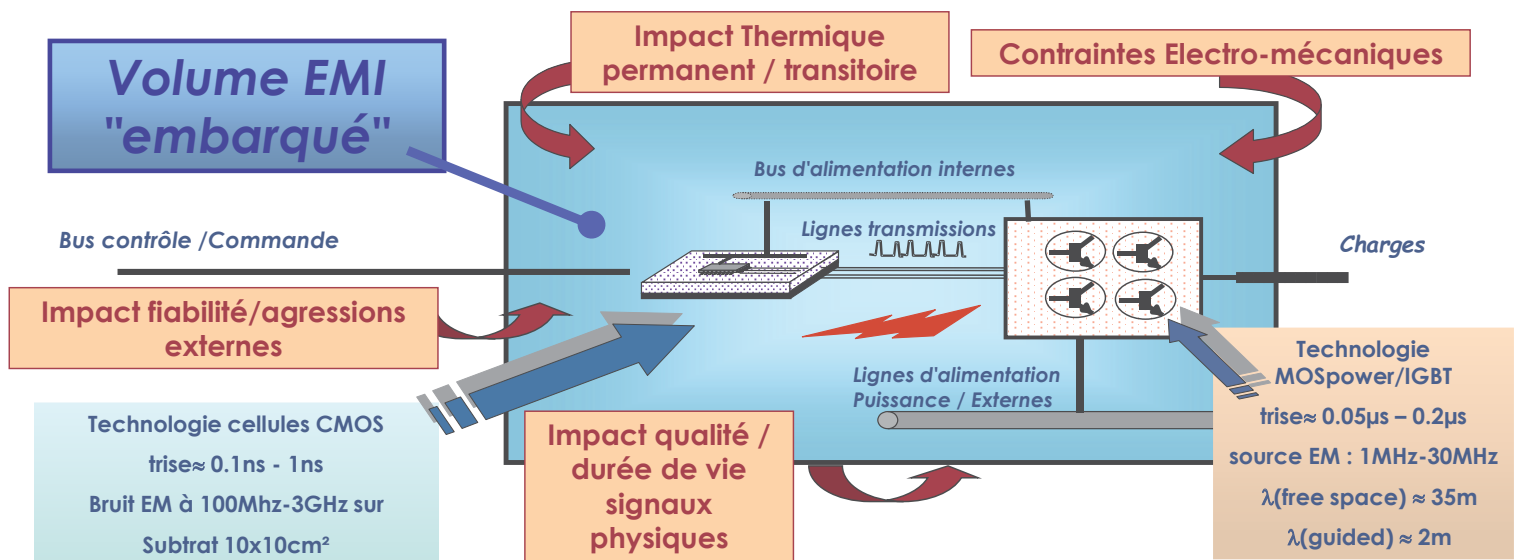


COMPOSANTS DE PUISSANCE = SOURCES CEM

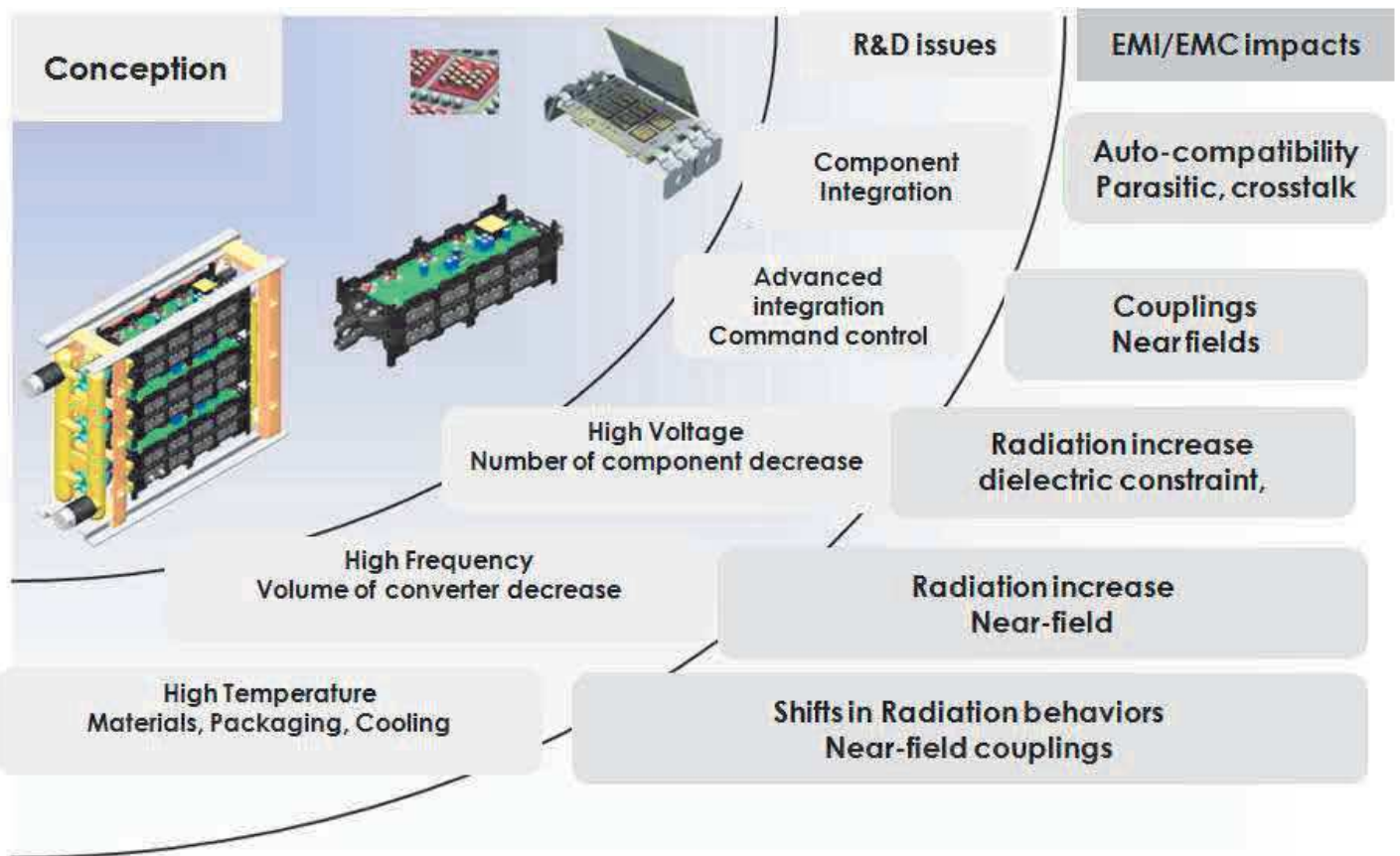
COMPOSANTS COMMANDES/DRIVERS = VICTIME CEM

IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE

LE(S) NOUVEAU(X) SCENARIO(I) CEM AUTOUR DES ARCHITECTURES DE PUISSANCE



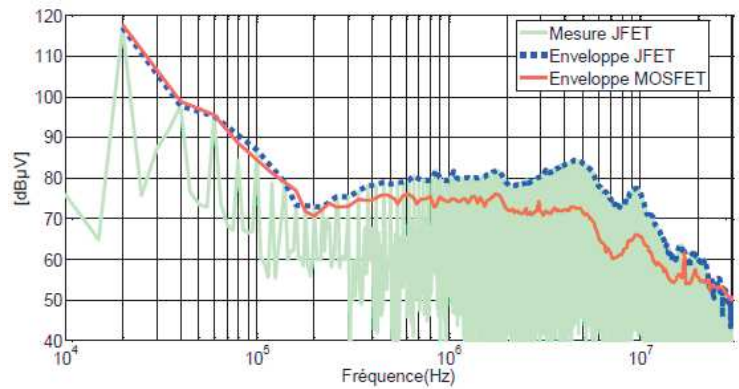
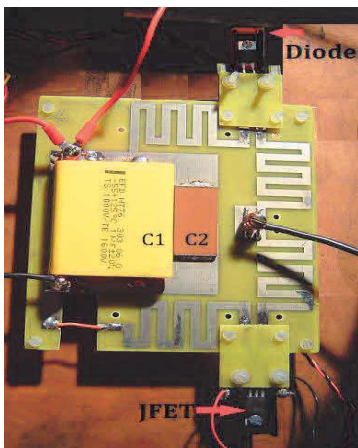
IMPACTS EMC/EMI DE L'INTÉGRATION DE PUISSANCE EMBARQUÉE



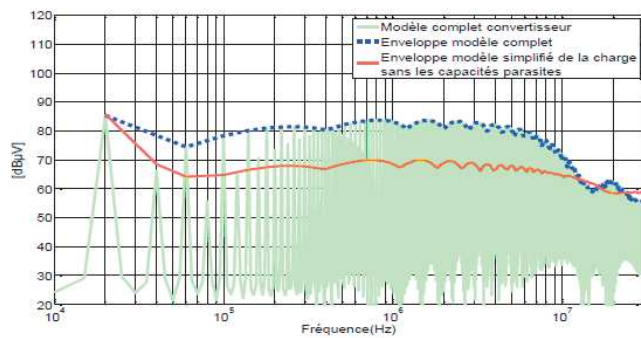
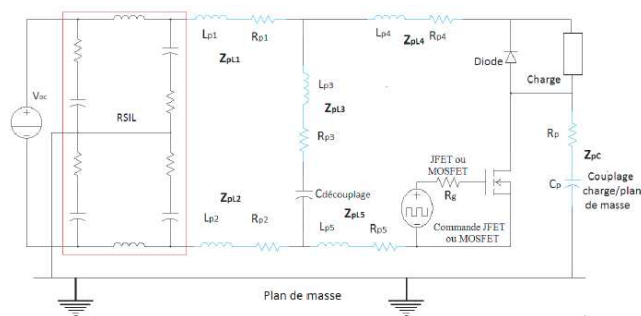
ASPECT DES ÉMISSIONS LARGE-BANDES CONDUITES ET RAYONNÉES

Convertisseur Si vs SiC

E. RONDON-PINILLA, "Conception de convertisseurs électroniques de puissance à faible impact électromagnétique intégrant de nouvelles technologies d'interrupteurs à semi-conducteurs", Thèse de l'Université de Lyon, 2014



Comparaison Mode commun entre composant Si (MOSFET) et SiC((JFET)



Simulation Mode commun – effet des capacités parasites

ASPECT DES ÉMISSIONS LARGE-BANDES CONDUITES ET RAYONNÉES

Convertisseur Flyback-Servo moteur (1)

I. RAMOS-CHÁVEZ, *Mobility Project Research, UMR-EMC Lab, 2015*

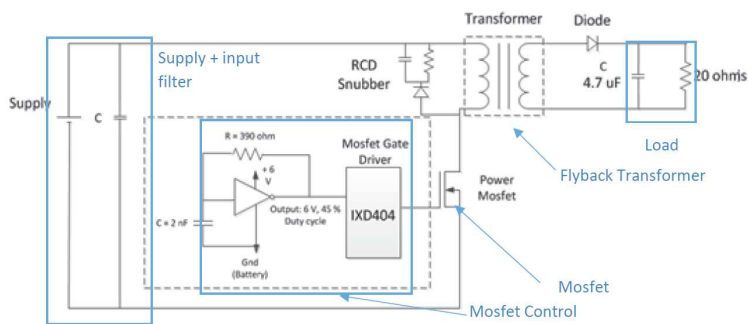


Fig. IV. 2 – Generic structure of a Flyback converter

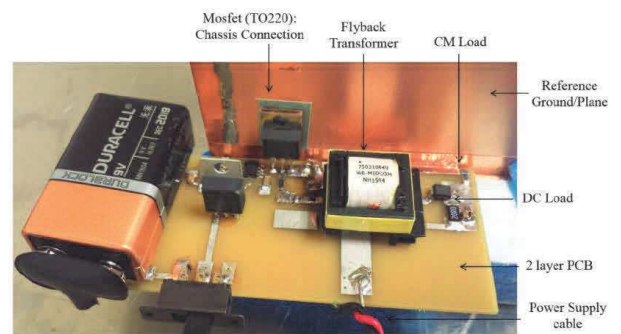


Fig. IV. 3 - Custom-made Flyback converter

Table IV. 1 - Components of the servo drive with equivalent operation frequencies

Main Components	Switching period/ Frequency	Active mode of servo- motor	Spectrum measured in far field
Inverter at IGBT	12 kHz	Servo-Lock	30 MHz – 100 MHz
Flyback Converter (250V – 12 V)	42 kHz	Plugged-In, Servo-Lock	30 MHz – 100 MHz
ADC - (SPI-Serial Data)	2 MHz	Plugged-In, Servo-lock	30 MHz - 550 MHz
IC513 (ADC-Clock)	10 MHz	Servo-Lock	30 MHz – 1 GHz
ASIC : Encoder Data	2.5 MHz	Plugged-In, Servo lock	30 MHz – 220 MHz

ASPECT DES ÉMISSIONS LARGE-BANDES CONDUITES ET RAYONNÉES

Convertisseur Flyback-Servo moteur (2)

Evaluation large-bande du courant de Mode Commun

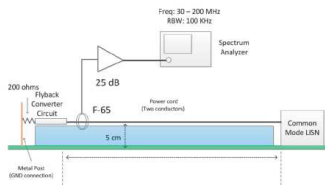
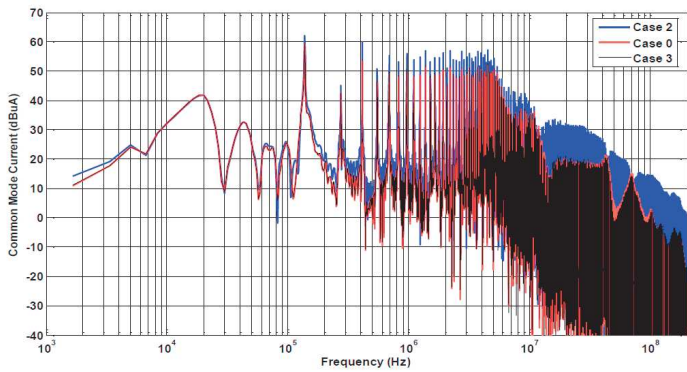


Fig. IV. 25 - Setup for the common-mode current measurement in semi-anechoic chamber

Table IV. 2 - Estimated parasitic capacitances

Parasitic Element	Case 1	Case 2	Case 3
C (Drain to Heat sink)	Direct connection	4 pF - 18 pF	4 pF - 18 pF
C (Heat sink to Source)	1 pF	Direct connection	1 pF
C (Heat sink to Chassis)	4 pF - 18 pF	4 pF - 18 pF	Direct connection



Mesure/simulation champ rayonné

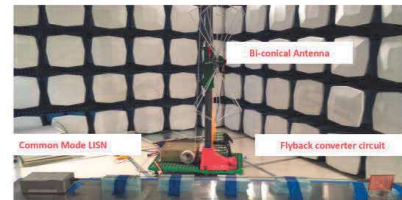
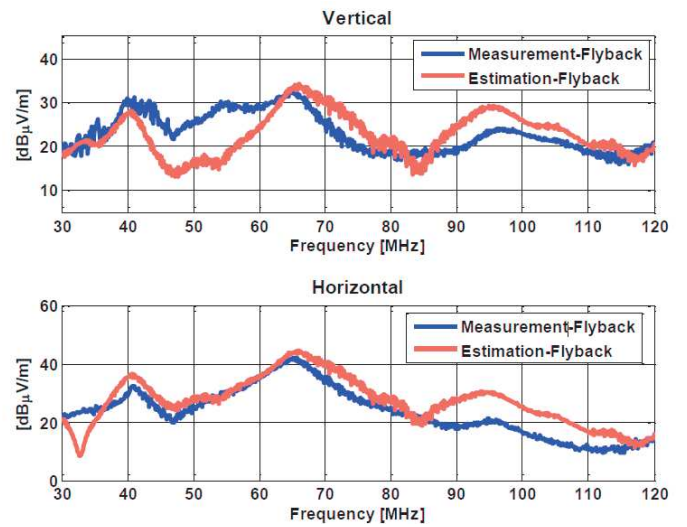


Fig. IV. 24 - Physical setup for experimental measurements of radiated emissions



Evaluation et comparaison des émissions rayonnées par le FLYBACK

ASPECT DES ÉMISSIONS LARGE-BANDES CONDUITES ET RAYONNÉES

Prototype EMOD – Novatem (1)

I. RAMOS-CHÁVEZ, "Design of High Frequency Operating Mechatronic Systems: Tools and Methods of Characterization of Electromagnetic Couplings Between Electromechanic Converters and Power Electronics Converters", These de l'Université de Toulouse, 2016.

Caractérisation / Modélisation HF du Convertisseur et de la machine (100 MHz)

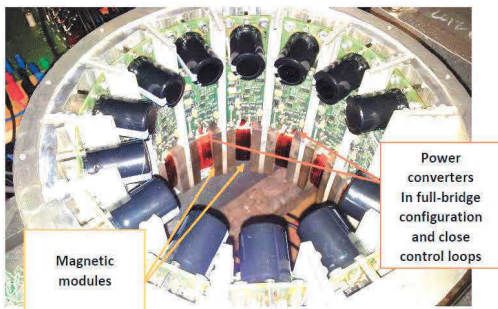


Fig. IV. 28 – Stator of EMOD motor with magnetic modules and their attached power electronics

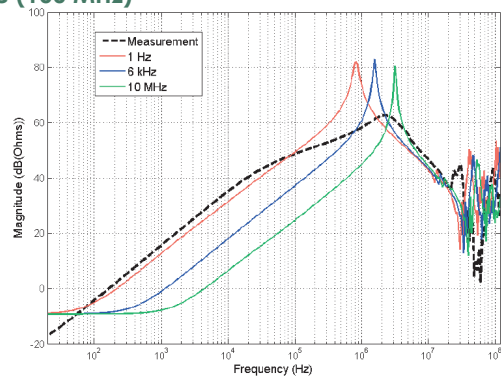


Fig. IV. 35 - Measured and simulated differential-mode impedance of an EMOD winding

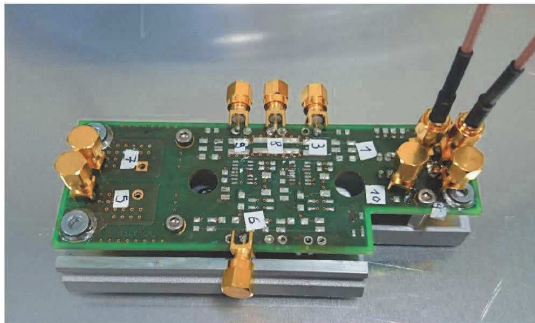


Fig III. 21 - Instrumented bare PCB for measurements

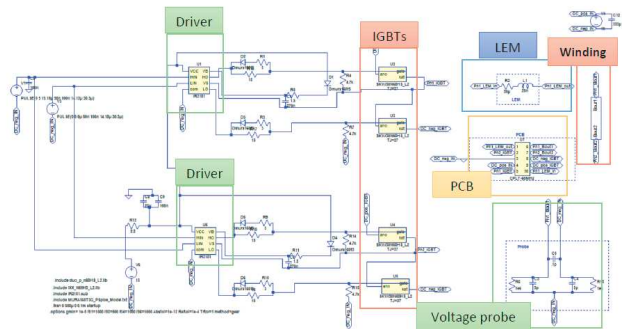
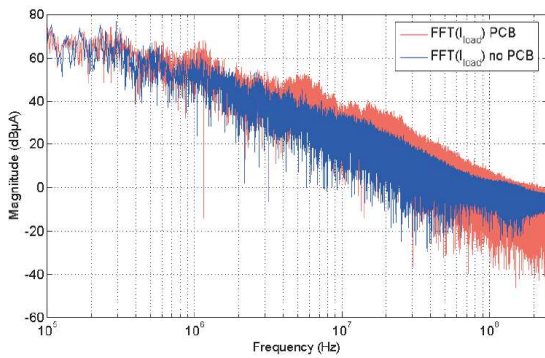
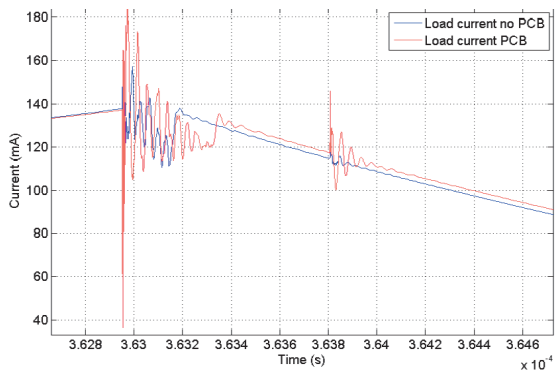


Fig. IV. 37 - Global circuit model of an EMOD phase

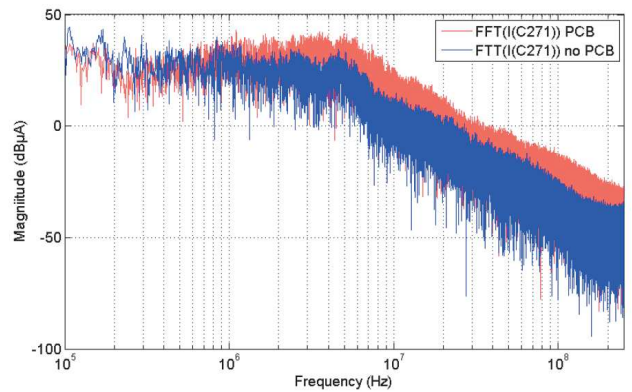
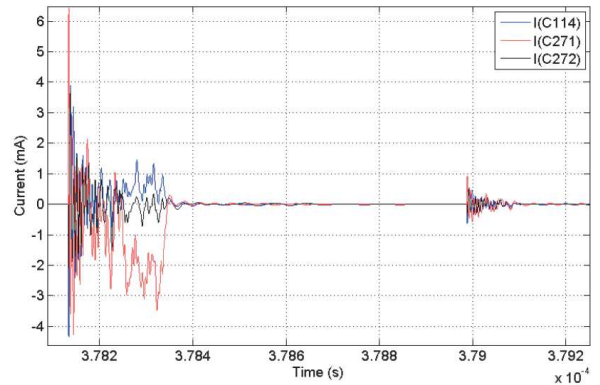
ASPECT DES ÉMISSIONS LARGE-BANDES CONDUITES ET RAYONNÉES

Prototype EMOD –Novatem (2)

Evaluations temporelles et fréquentielles – Courant de charge



Courant Mode Commun - Bobinages

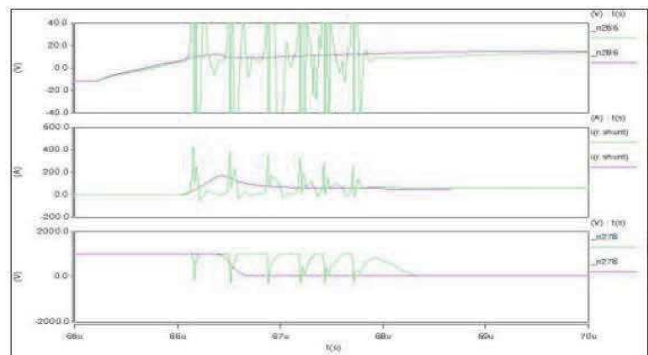
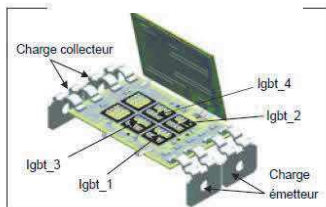


ASPECT DES COUPLAGES EM INTERNES ET EXTERNES

Interrupteur NT – PEARL (1kW)

G. Lourdel, "Study, Design and Validation of Integrated Near-Field Probes for EMC Investigation on a Power Hybrid Structure", Proc. Of IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Santa Clara, August 2005.

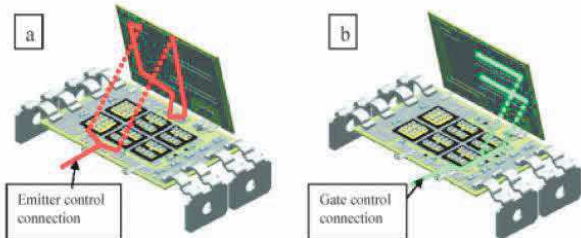
Schéma du prototype



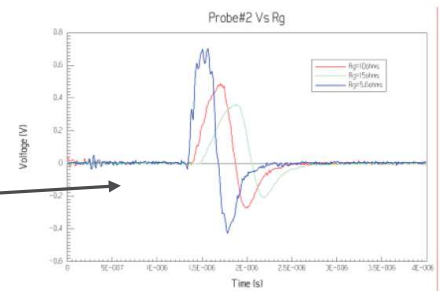
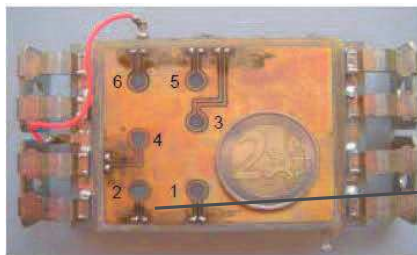
Formes d'ondes à la fermeture des IGBT – perturbations en mode conduit

Identification des chemins de couplages au sein du prototype SWITCH NT

(a) Couplage inductif (b) couplage capacitif



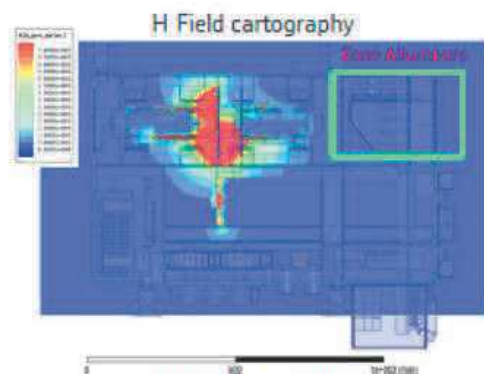
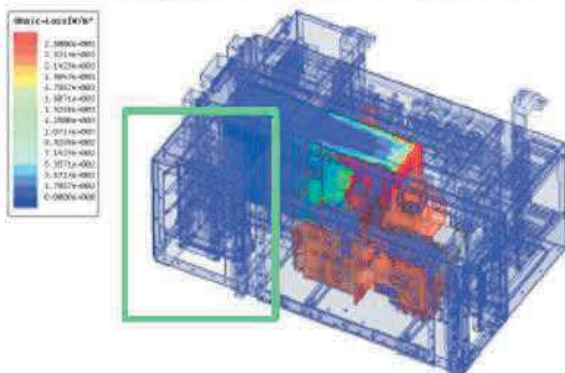
Vue d'un prototype avec son jeu de sondes sur le DBC supérieur (BREVET FR/US)



ASPECT DES COUPLAGES EM INTERNES ET EXTERNES

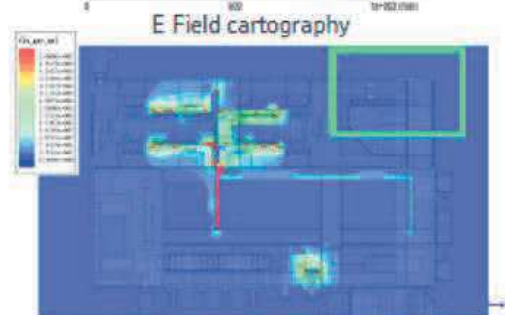
Module Traction Ferroviaire (ALSTOM) – Analyses Numériques 3D Champs Proches

- Example of low tension PCB integration in Power Traction Cubicle



- With the actual electrical waveforms, the E and H fields are computed
- Low Tension PCBs (i.e: Drivers, sensors, etc...) are positioned in "safe" electromagnetical area.

Added to Design Check List
for Module development



emmanuel.betista@transport.alstom.com - 11/07/2013 - P 18

TRANSPORT **ALSTOM**

ASPECT DES COUPLAGES EM INTERNES ET EXTERNES

Intégration Antennes champ Proche – démonstrateur 1

G. Vine, "Theoretical and Experimental Study of Magnetic Sensors for Near-Field Emission Measurement. Application to Design and Integration in Power Printed Board Circuit", In Proc. of EMC EURO17, FRA, Sept. 2017.

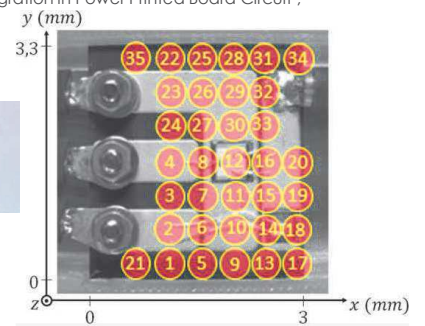
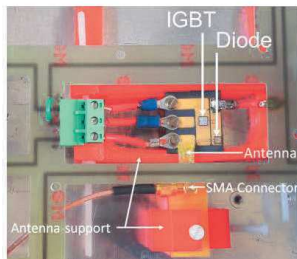
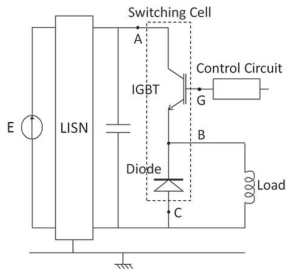
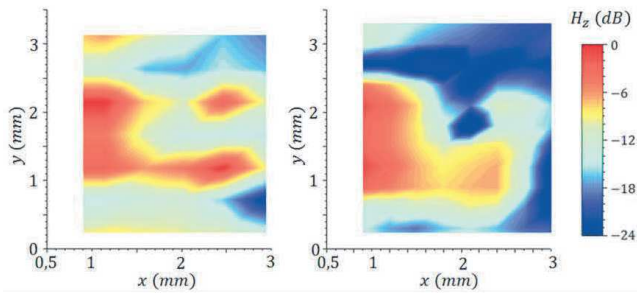
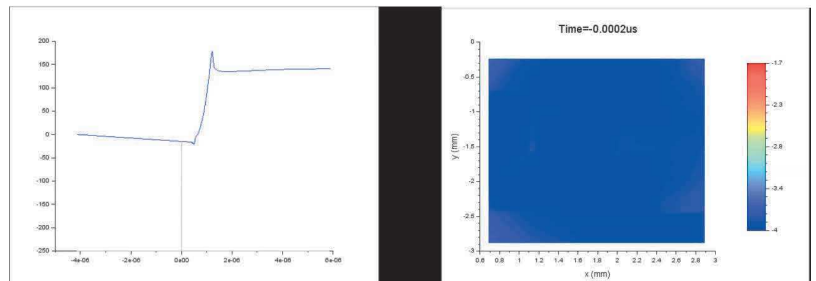


Schéma et vue du démonstrateur (Hacheur IGBT Si – Diode SiC)

Vue prototype et points de cartographie mesurés



Comparaison Cartographie Composante H_z
Simulation / Mesure



Cartographie à la commutation

ASPECT DES COUPLAGES EM INTERNES ET EXTERNES

Intégration Antennes champ Proche – Nouveaux design - Antennes "Butterfly"

R. KOBAYASHI, "Near Magnetic Field Probe for Detection of Noise Current Flowing to Uncertain Directions", Proc. of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE 2017, Angers, France, September 4-8, 2017

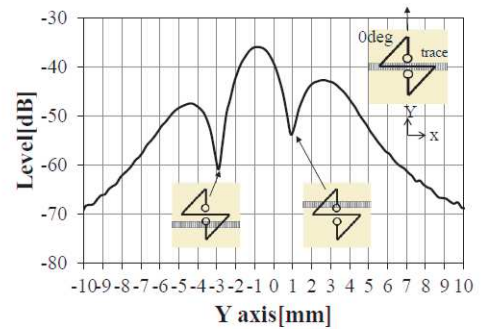
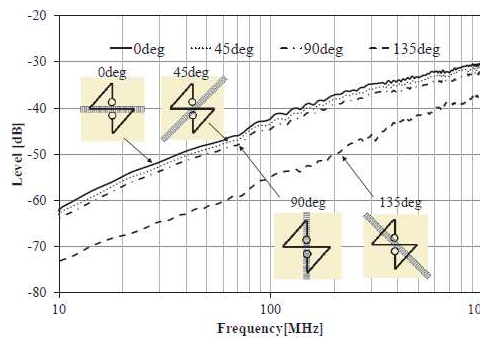
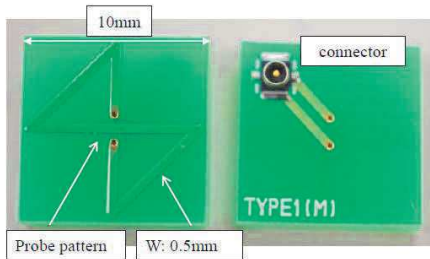


Fig.8 Frequency vs sensitivity (Butterfly type probe)

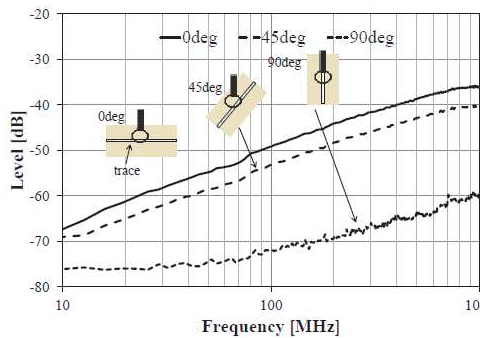


Fig. 13 trace position vs sensitivity (0deg)

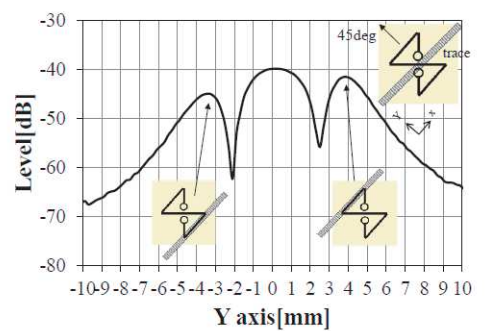


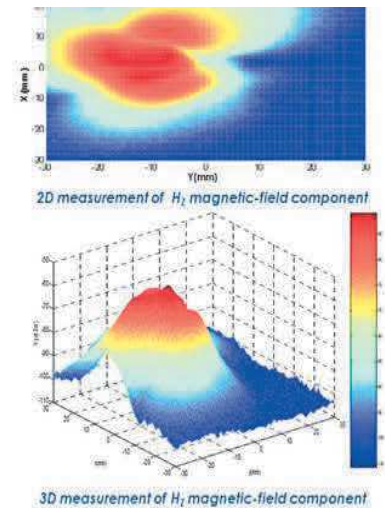
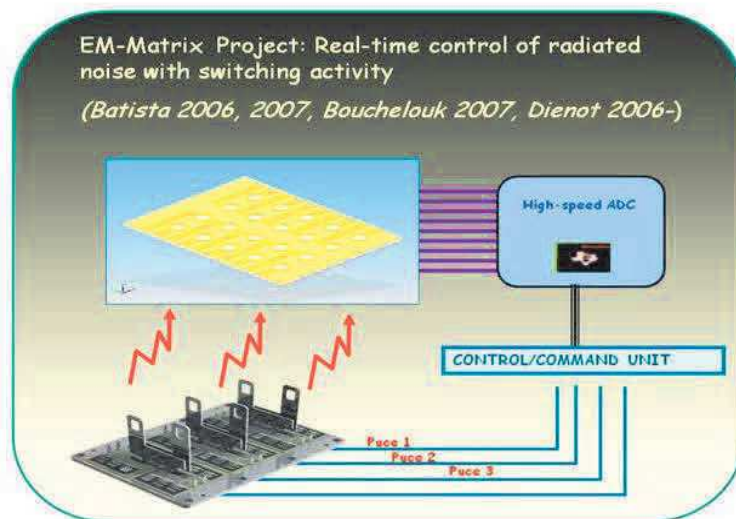
Fig.7 Photograph of Loop type probe

Comparaison des performances entre antenne Loop et Antenne Butterfly

ASPECT DES COUPLAGES EM INTERNES ET EXTERNES

Intégration Antennes champ Proche – démonstrateur 2

• EM-Matrix Project



Scan champ proche embarqué du bruit électromagnétique de modules électronique

Action de contrôle protection soft (Actions sur lois de commande/commutations des actionneurs)

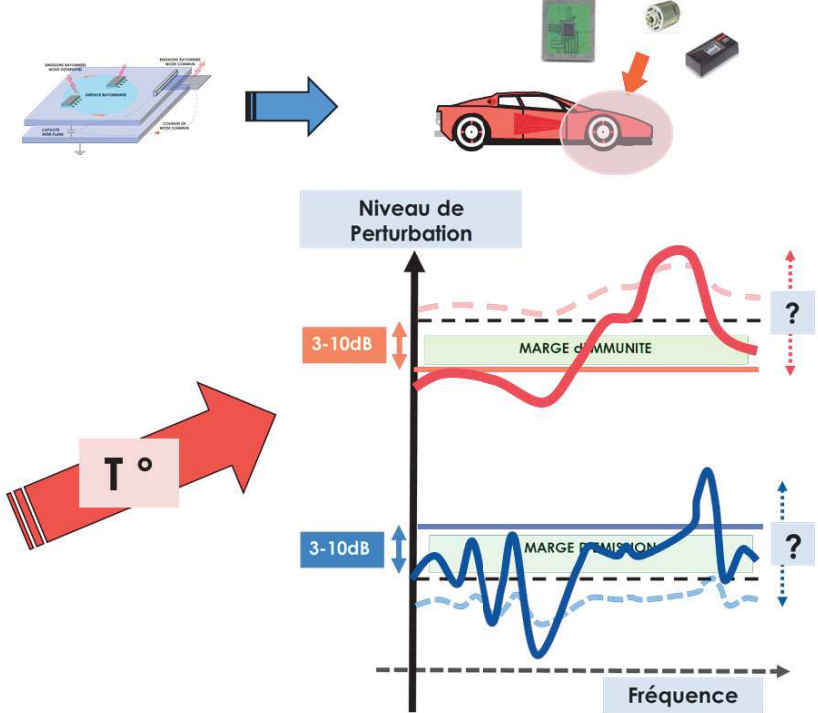
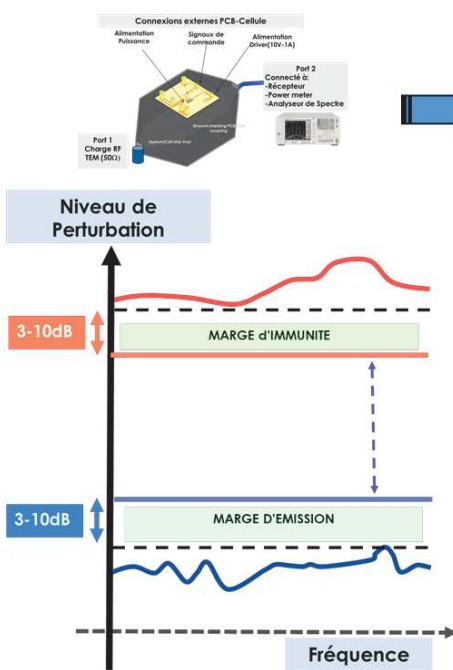
Si $H_n \uparrow$: réduction de I_n ou augmentation de t_n

IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

IMPACT DE LA TEMPÉRATURE SUR LES FIGURES CEM - CONTEXTE

Niveaux CEM à Température Ambiante
 $T \approx 20^{\circ}\text{C}$

Niveaux CEM à Température > Ambiante
 $T > 20^{\circ}\text{C}$



IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

IMPACT DE LA TEMPÉRATURE SUR LES EMISSIONS CEM – LES DÉBUTS (2005 -)

J.M. Dienot, G. Lourdel, "Experimental Study of Thermal Influence on EMC Emissions of Digital Circuit on PCB", Proc. Of 16th International Zurich Symposium on EMC, Feb. 2005
 S. Ben Dhia and al., "Thermal Influence on 16-bits microcontroller Emission", Proc. Of IEEE Symposium on EMC, Honolulu, Aug. 2007.

Dienot, J.-M, "Characterisation and simulation of digital device electromagnetic noise under non-ambient temperature conditions", Electronics Letters, Volume 43, Issue 20, September 2007. DOI:10.1049/el:20070495

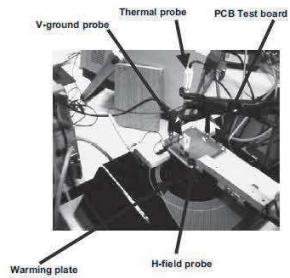


Fig. 1. EMC+Thermal test bench for PCB digital component test board

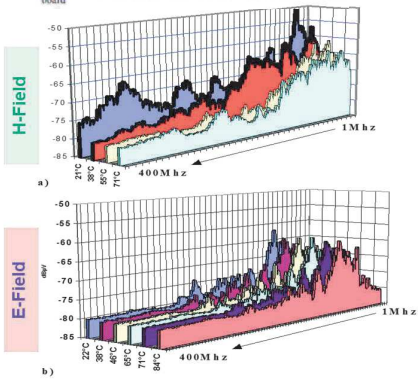


Figure 3. Temperature chamber used for the EMC test

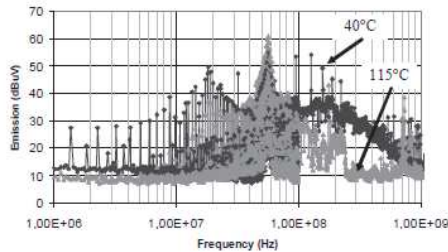


Figure 7. Noise measured above Port S (port switching) with a near-field probe at 40°C and 115°C, showing a maximum reduction of 20 dB

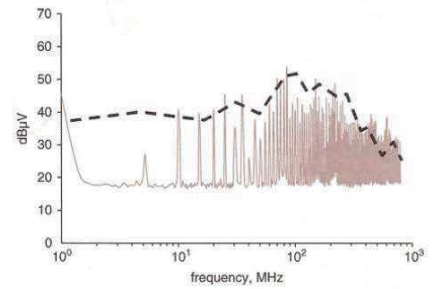
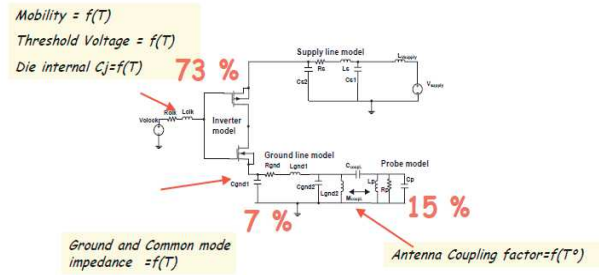


Fig. 3 Spectrum measurement and simulation (dashed line) of switching noise for PCB temperature of 58°C

IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

DÉVELOPPEMENT NOUVEAUX BANCS DE CARACTÉRISATION DUALE THERMAL – EM (LABCEEM, TARBES)

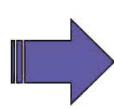
SETUP #1: NEAR-FIELD CHARACTERIZATION - METHODS WITH THERMAL AGGRESSION



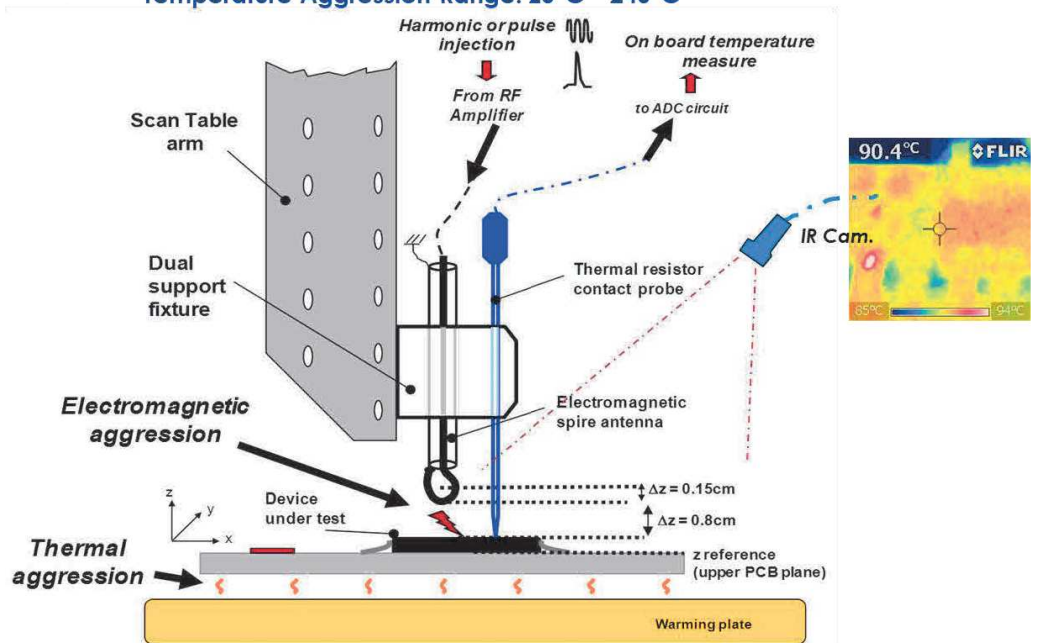
3D Motorized support
res. xyz 10µm



Set of RF/HF Probes
(18GHz)



- Special Test Fixture with EM and Temperatures Probes
- Thermal Camera
- RF Aggression Range: 1MHz – 6GHz
- Temperature Aggression Range: 20°C – 240°C

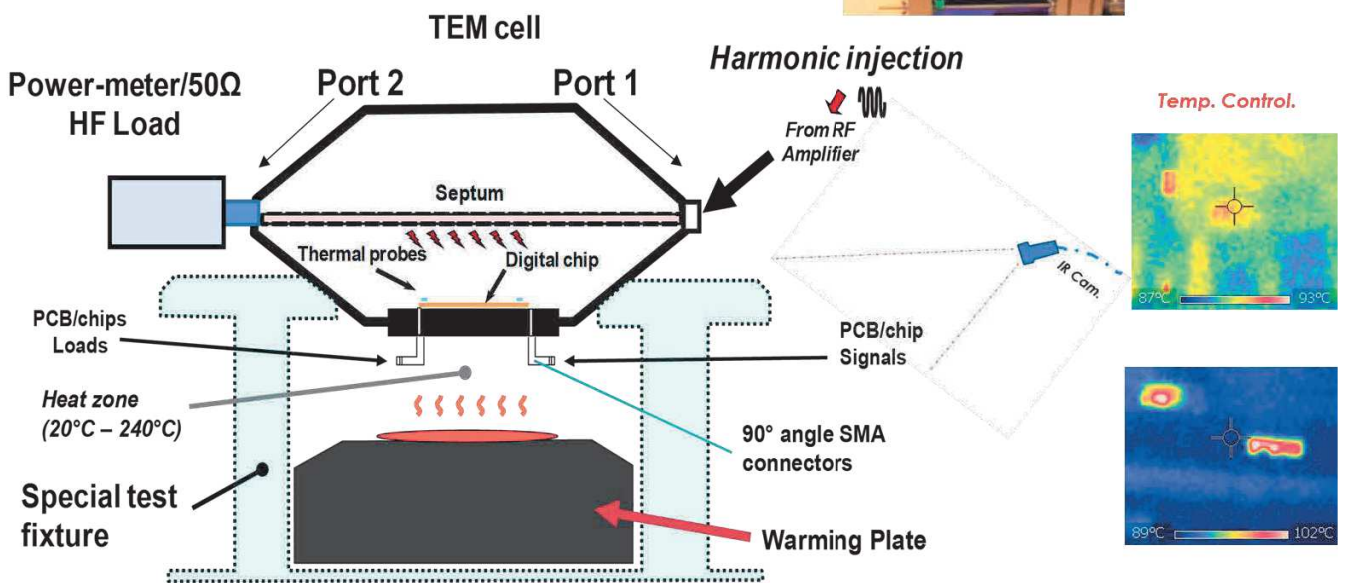


IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

DÉVELOPPEMENT NOUVEAUX BANCS DE CARACTÉRISATION DUALE THERMAL – EM (LABCEEM, TARBES)

SETUP#2: RADIATED TEM MODE CHARACTERIZATION: ADAPTATION TO THERMAL AGGRESSION

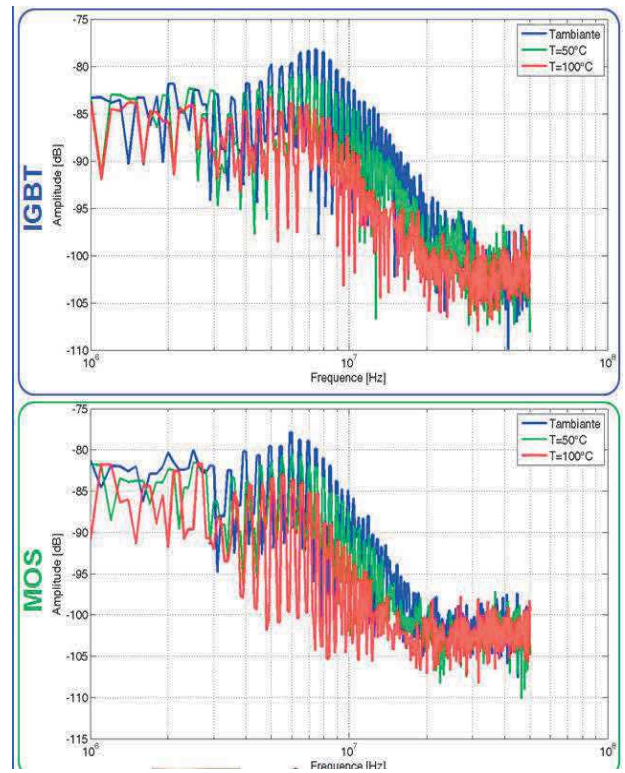
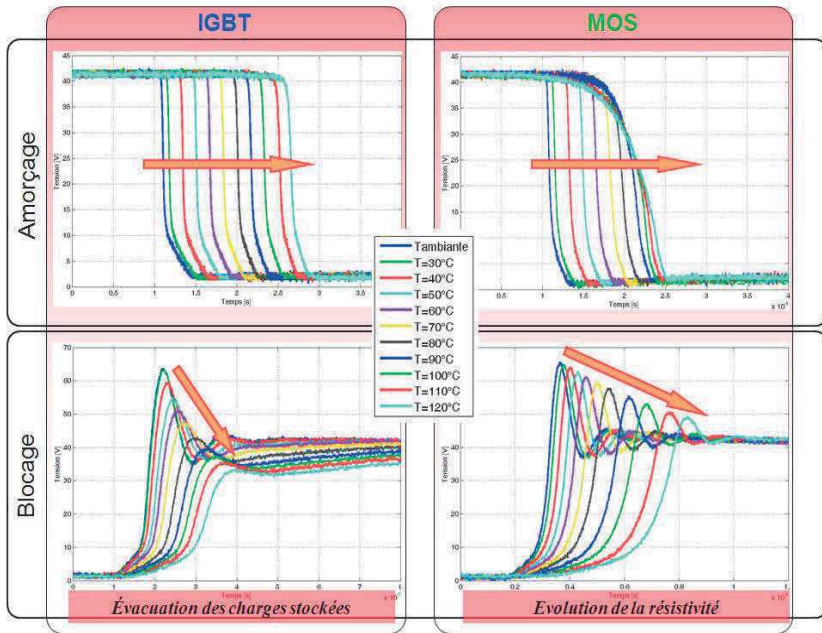
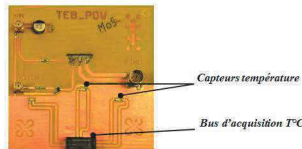
- Special TEM Cell support for Warming Plate
- PCB 10x10cm² with Thermal sensors



IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

EMISSIONS DES MODULES DE PUISSANCE – EN TEMPÉRATURE (LOURDEL 2006, BATISTA 2008)

PCB PTR6 MOS avec capteurs
Température



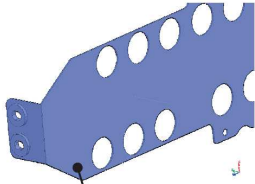
Comparaison des formes d'ondes à la fermeture et l'ouverture entre l'IGBT et Le MOS – fonction de la température

Spectre d'Emission Rayonné de l'IGBT et du MOS en fonction de la Température

IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

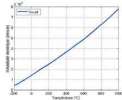
ETUDES EMISSIONS RAYONNE DE BUSBARS EN TEMPÉRATURE (BATISTA 2009)

Busbar (Model) for Power cabling



$$\rho_{Cu} = 1.10^{-6}T^2 + 0,0051T + 1,3921$$

- ◆ Temperature range : 0 to 150°C
- ◆ Evolution of Copper resistivity
- ◆ Evolution of Permittivity negligible
- ◆ Mechanical dilatation of Copper negligible



$$R_{ij} = \int_V \vec{J}_i \cdot \frac{\vec{J}_j}{\sigma} dv$$

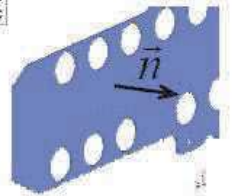
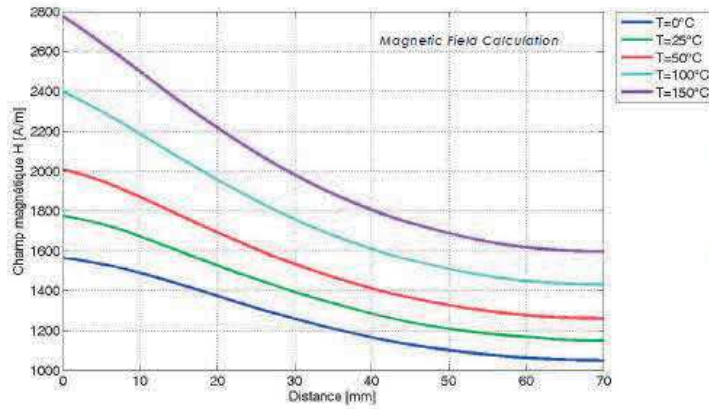
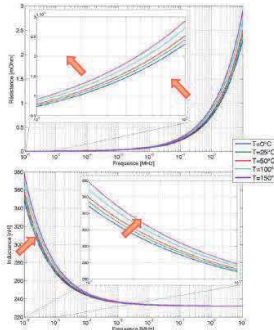
$$L_{ij} = \int_V \vec{A}_i \cdot \vec{J}_j dv$$

Modeling of Resistance and inductance

$$R_{ij} = \int_V \vec{J}_i \cdot \frac{\vec{J}_j}{\sigma} dv$$

$$L_{ij} = \int_V \vec{A}_i \cdot \vec{J}_j dv$$

Impact on Skin effect, Resistance & Inductance



- ◆ Magnitude of Radiated Magnetic field increase
- ◆ Main shift in Skin effect
- ◆ Increase of equivalent values of Resistance/Inductance

IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

ÉMISSIONS EN MODE CONDUIT – EN TEMPÉRATURE (LOUDIÈRE, 2017)

(1)

K. LOUDIÈRE, "Modélisation d'une chaîne d'entraînement électrique d'un point de vue CEM-Impact de la température", Thèse de l'Université de Lyon, 2017

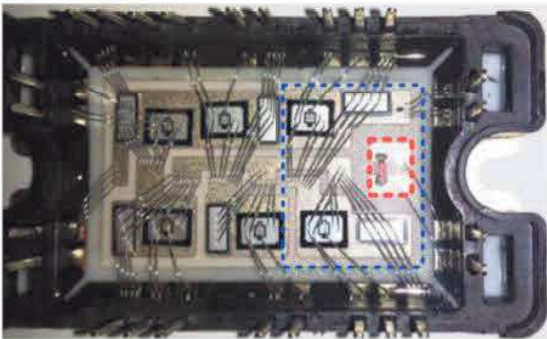
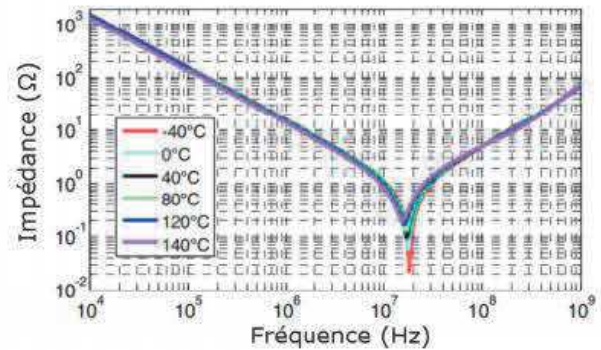


Figure 164 : Capteur de température (rouge) et bras d'onduleur utilisé pour le hacheur (bleu)



Impact de la température sur l'impédance de condensateur film

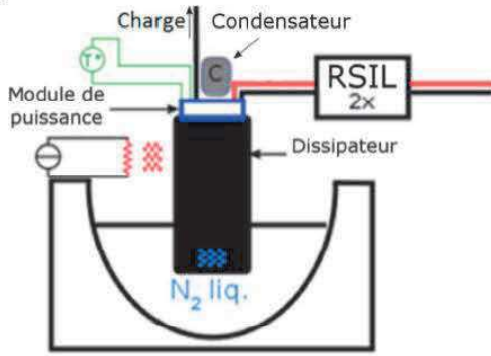


Figure 166 : Sources de chaleurs utilisées pour modifier la température du module de puissance

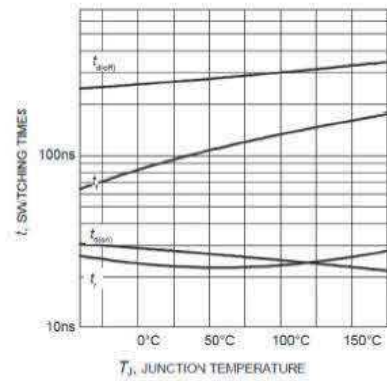
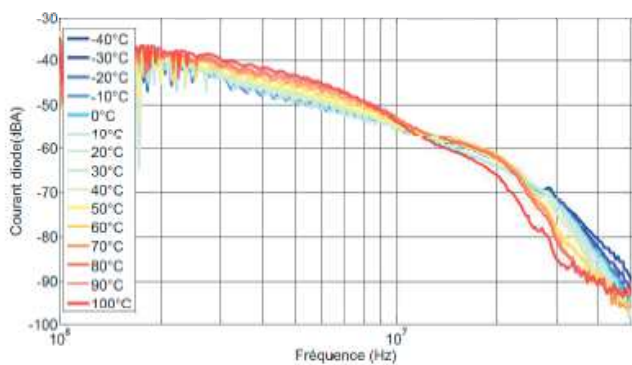


Figure 169 : Impact de la température sur les temps de commutation d'un IGBT IKW25N120T2

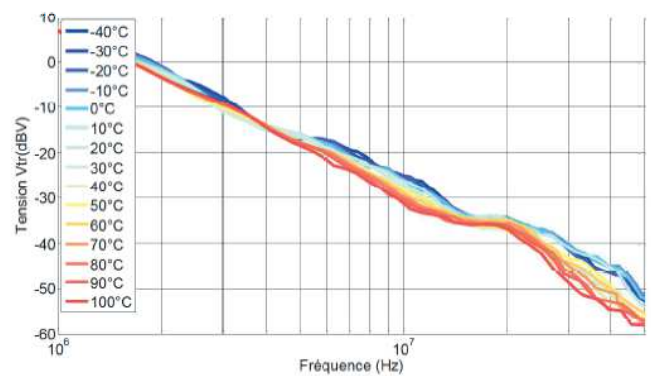
IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

EMISSIONS EN MODE CONDUIT – EN TEMPÉRATURE (LOUDIÈRE, 2017)

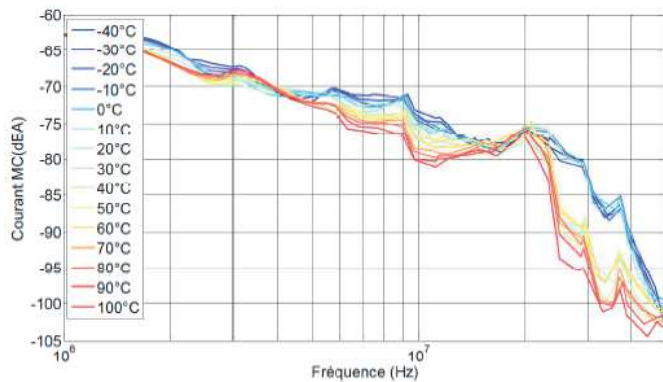
(2)



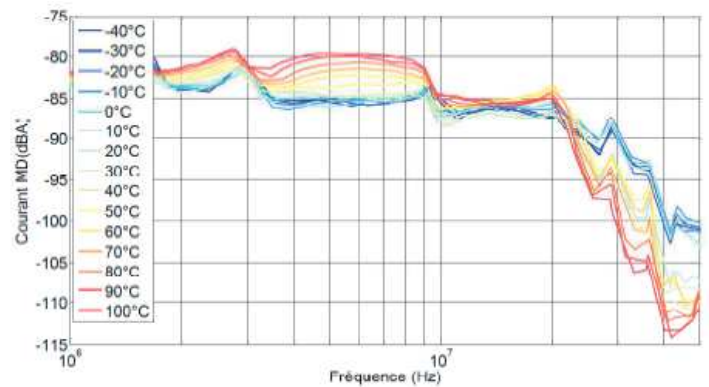
Spectre du courant dans la diode



Spectre de la tension aux bornes de l'IGBT



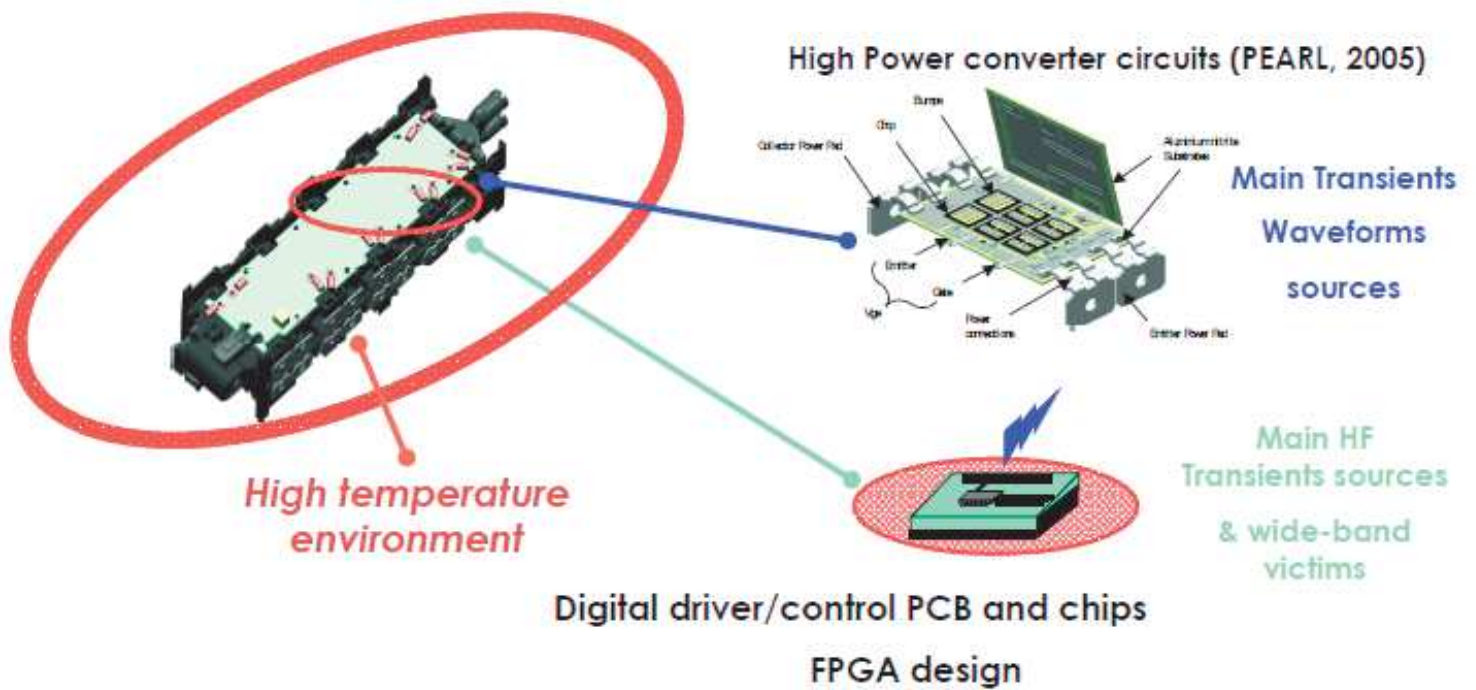
Spectre du courant Mode Commun



Spectre du courant Mode Différentiel

IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

IMMUNITÉ RAYONNÉE – EN TEMPÉRATURE SUR LA PARTIE COMMANDE - CONTEXTE

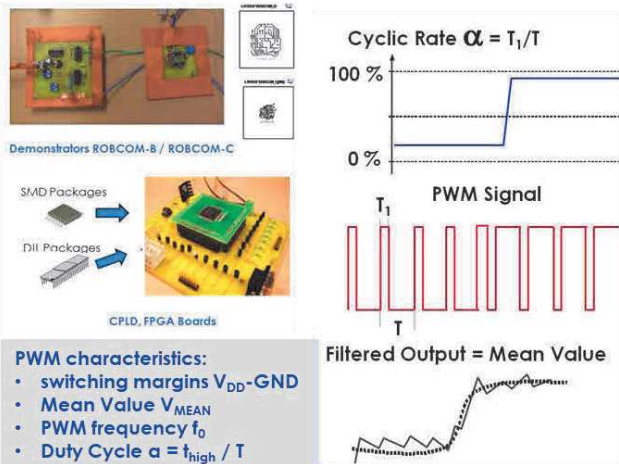


IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

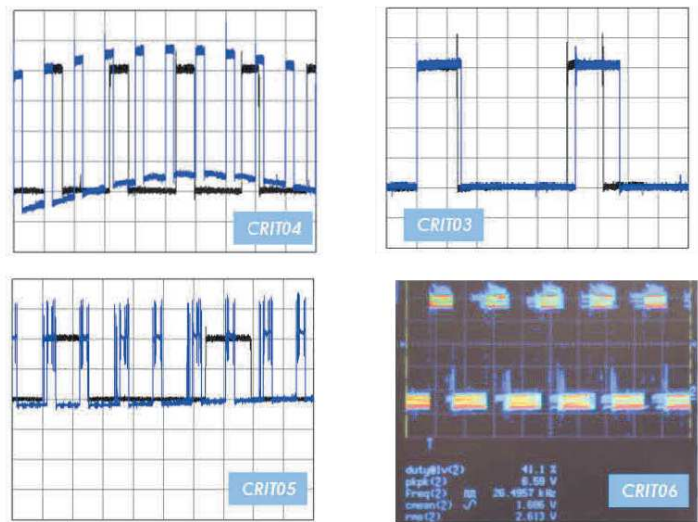
IMMUNITÉ RAYONNÉE – EN TEMPÉRATURE SUR LA PARTIE COMMANDE – ETUDES (2009 -)

PCB DEMONSTRATORS / PROTOTYPES

- DIL/SMD/Integrated Circuits chips.
- Operate in Pulse Width Modulation modes
- Supply 0-5V range for V_{DD} , 1kHz-5MHz for the PWM clock.



Examples of Criteria's Default for PWM Signal integrity qualification



DEFAULT CRITERIA	DESCRIPTION	EFFECTS/OBSERVATIONS	TIMING
CRIT03	PWM Cyclic Rate shift	Oscilloscope detection	Perm.
CRIT04	Shift of Switching Margins of PWM	Oscilloscope detection	Perm.
CRIT05	Jitter- slide of nominal PWM frequency	Oscilloscope detection	Perm.
CRIT06	Shift of Mean Value of PWM	Oscilloscope detection on N periods	Perm.

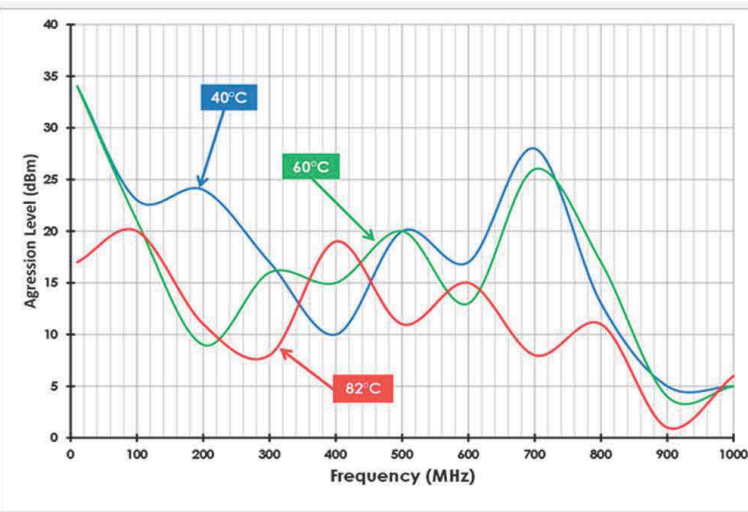
Criteria's of defaults have been marked from light (10%) to severe (1%) shifts.

IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

IMMUNITÉ RAYONNÉE – EN TEMPÉRATURE SUR LA PARTIE COMMANDE – RÉSULTATS (1)

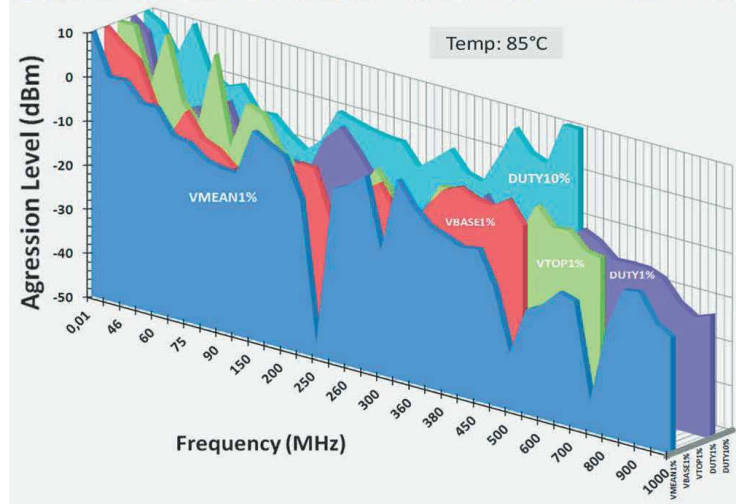
J.M. Dienot and al., EUROEM 2016, London, UK, July 2016.
EMC Europ'17, Angers, FRA, September 2017.

AGRESSION EN MODE TEM – PCB COMPLET



Diminution de 3 à 25 dB des seuils de défaut sur le rapport cyclique du PWM

Comparison of five criterias at higher temperature before loss of switching.

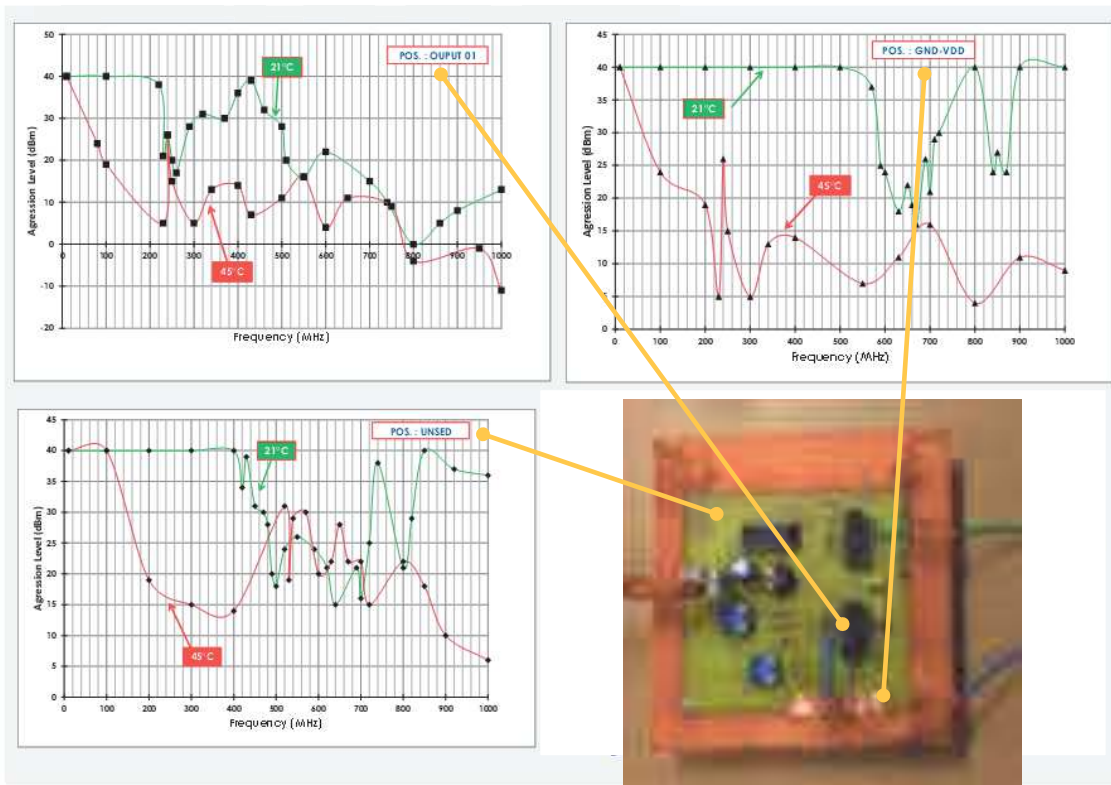


Niveaux d'agression entrainant des defauts de critères PWM à 85°C : Max 10 dBm (10 mW), Min. -47 dBm@250kHz

IMPACTS DE L'ENVIRONNEMENT DE PUISSANCE : EXEMPLE DE LA TEMPÉRATURE

IMMUNITÉ RAYONNÉE – EN TEMPÉRATURE SUR LA PARTIE COMMANDE - RÉSULTATS (2)

AGRESSION EN CHAMP PROCHE – LOCALISÉE



Le critère de défaut du rapport cyclique est différent suivant les zones d'injection EM.

À 45°C, les seuils sont abaissés de 5 à 30 dB de manière différenciées suivant les zones d'agression et sur une bande de fréquence importante.

CONCLUSIONS

- ⊞ Les architectures de Puissance : Scenario CEM complet Classique 9kHz à 30MHz
 - ⊞ Sources(Power, Drivers)
 - ⊞ Modes de couplages (Impédances communes, substrats communs, rapprochement PCB)
 - ⊞ Victime(Drivers, Commandes Numériques)
- ⊞ Nouveaux composants, nouveaux matériaux , nouvelles techniques d'intégration:
 - ⊞ Δt commutation ↓ : nouveaux convertisseurs dits "Haute Fréquence (100kHz) avec des densités de puissance dans des volumes/masse réduits.
 - ⊞ ΔV ↑ : Meilleur rendement de conversion de l'énergie DC pour les systèmes mobiles/embarqués
 - ⊞ T° de fonctionnement ↑ : Réduction volumique/massique des système de refroidissements
- ⊞ Impacts sur les sources/modes d'émission: élargissement du spectre vers les fréquences > 30MHz
 - ⊞ Courant de mode commun jusqu'à 100MHz
 - ⊞ Dimensionnement Filtres (Normes) augmente
 - ⊞ Rayonnements convertisseurs "moyens" jusqu'à 800MHz-1GHz
 - ⊞ Recrudescence des problèmes de DP sur les bobinages

CONCLUSIONS

- ↪ Impacts sur le mode de couplage et interactions Source Victime
 - ↪ Augmentation des "points chauds" EM en niveau (dP rayonné \equiv fréquence)
 - ↪ Nécessité analyses/investigations Champ Proche : antennes champ proche intégrées, surveillance Emissions en temps réel/environnement réel.
 - ↪ Design/placement des composants électroniques (Victimes) en conséquence

- ↪ Impacts de l'environnement Multiphysique des convertisseurs : Température
 - ↪ Quelques dizaines de ° C en plus ou en moins: fort impact sur les figures CEM
 - ↪ En Emission : 3 à 10 dB d'écart , plus prononcé et inversé en HF (> 50MHz)
EN HF (50MHz) : changements des pics de résonance
 - ↪ En Immunité : Abaissement important (20-25dB) du seuil de susceptibilité sur certaines gammes de fréquences
Défauts à 85C° a partir 1μW à 10mW d'agression seulement.

Ces nouvelles problématiques modifient l'approche CEM autour des Convertisseurs de Puissance. Une synthèse de travaux de ces dernières années, présentée ici, a montré leur réalité, leur difficulté et leur pertinence.

De nouvelles techniques de caractérisation CEM, d'analyses/simulation multiphysiques et de règles de conception orientées CEM Multi-niveaux sont en train d'émerger et vont évoluer dans ce sens.