

JOURNÉE THÉMATIQUE SUR LES INTERFÉRENCES ÉLECTROMAGNÉTIQUES INTENTIONNELLES

INTRODUCTION A LA CEM : FOCUS SUR LA CEM DES CIRCUITS INTÉGRÉS

Alexandre Boyer

CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France

alexandre.boyer@laas.fr

Plan

- **Compatibilité électromagnétique**
- **CEM des circuits intégrés**
- **Méthodes de mesure pour la CEM des CI**
- **Modélisation de la CEM des CI**

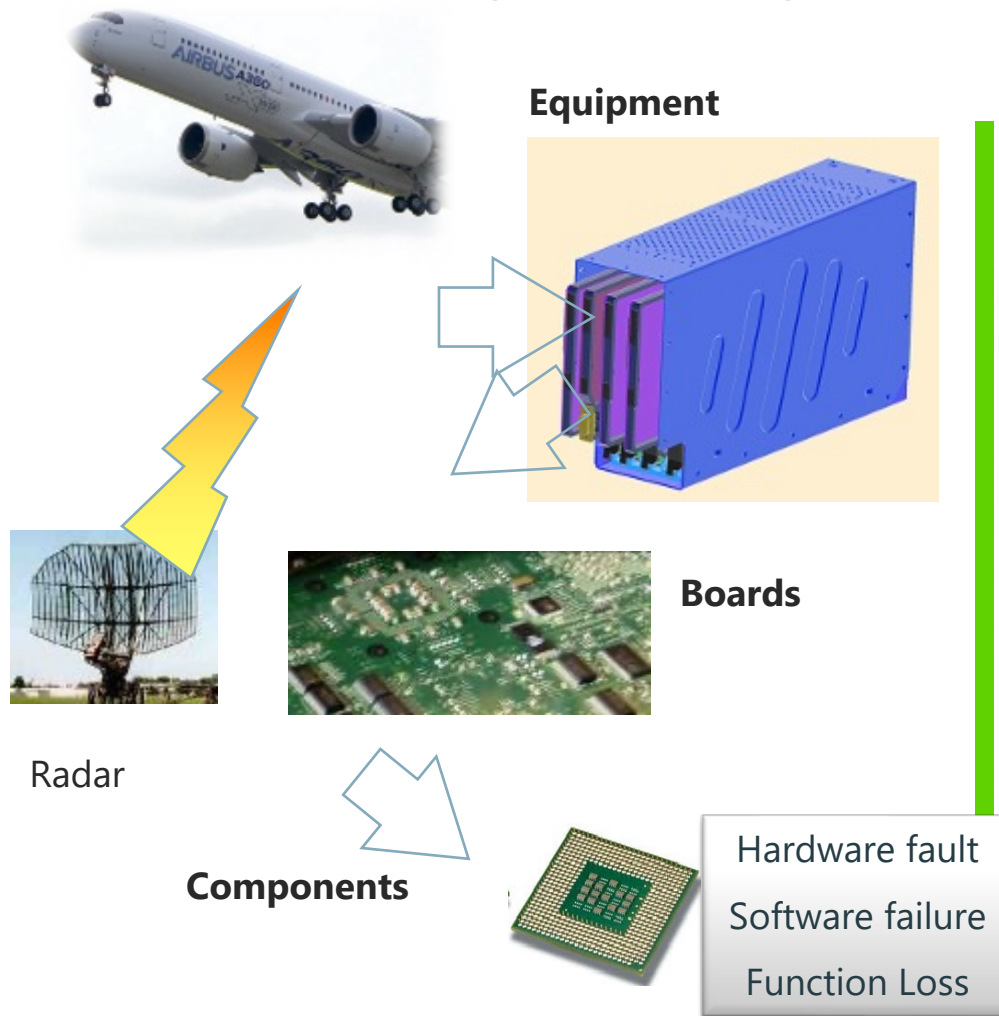
Compatibilité Electromagnétique (CEM)

« La capacité d'un composant, équipement ou système à fonctionner de manière satisfaisante dans un environnement électromagnétique donné, sans introduire de perturbations électromagnétiques intolérables pour tout système présent dans cet environnement. »

- Aspect essentiel pour la sûreté fonctionnelle des applications électroniques (éviter les interférences électromagnétiques)
- Garantir le **fonctionnement simultanée** de tous les équipements électriques et électroniques dans un **environnement et des conditions nominales**
- Réduire l'**émission électromagnétique** parasite et la sensibilité ou **susceptibilité** aux perturbations électromagnétiques

Compatibilité Electromagnétique (CEM)

SUSCEPTIBILITE (ou immunité)

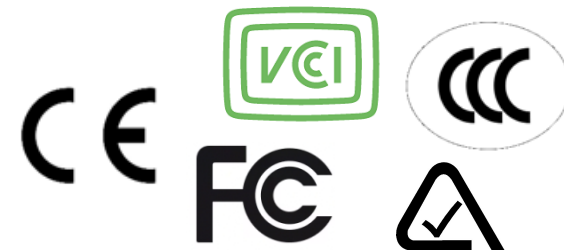


EMISSION



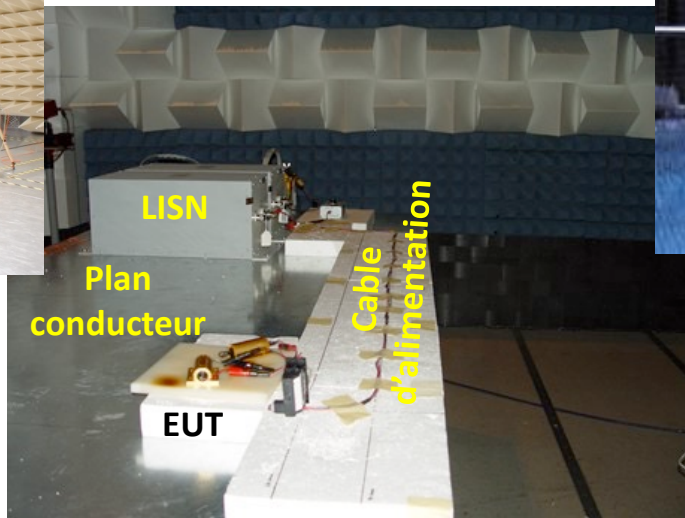
CEM – Un contexte certificatif et normatif

- La CEM est une **exigence obligatoire** pour la commercialisation des produits électroniques (ex: directive européenne CEM).
- Vérification de la CEM par des **tests de certification normalisés** (IEC, CISPR, ISO)



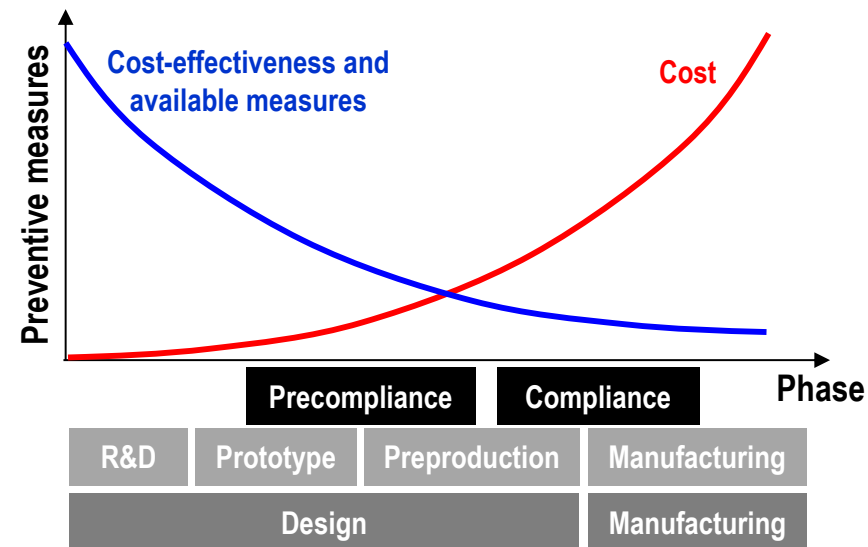
Typical EMC marking for general-purpose electronic products

EMC facilities for radiated emission/susceptibility test



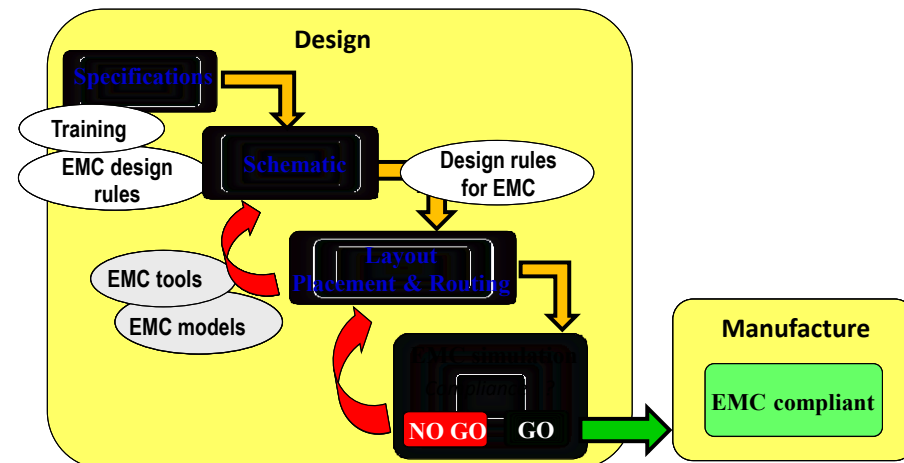
Flot de conception/validation CEM

- Les problèmes de CEM représentent la 3^e cause de redesign des équipements électroniques
- Surcoût lié aux phases de redesign.
- Nécessité d'intégrer la CEM dès les phase de spécifications et à chaque phase de validation.



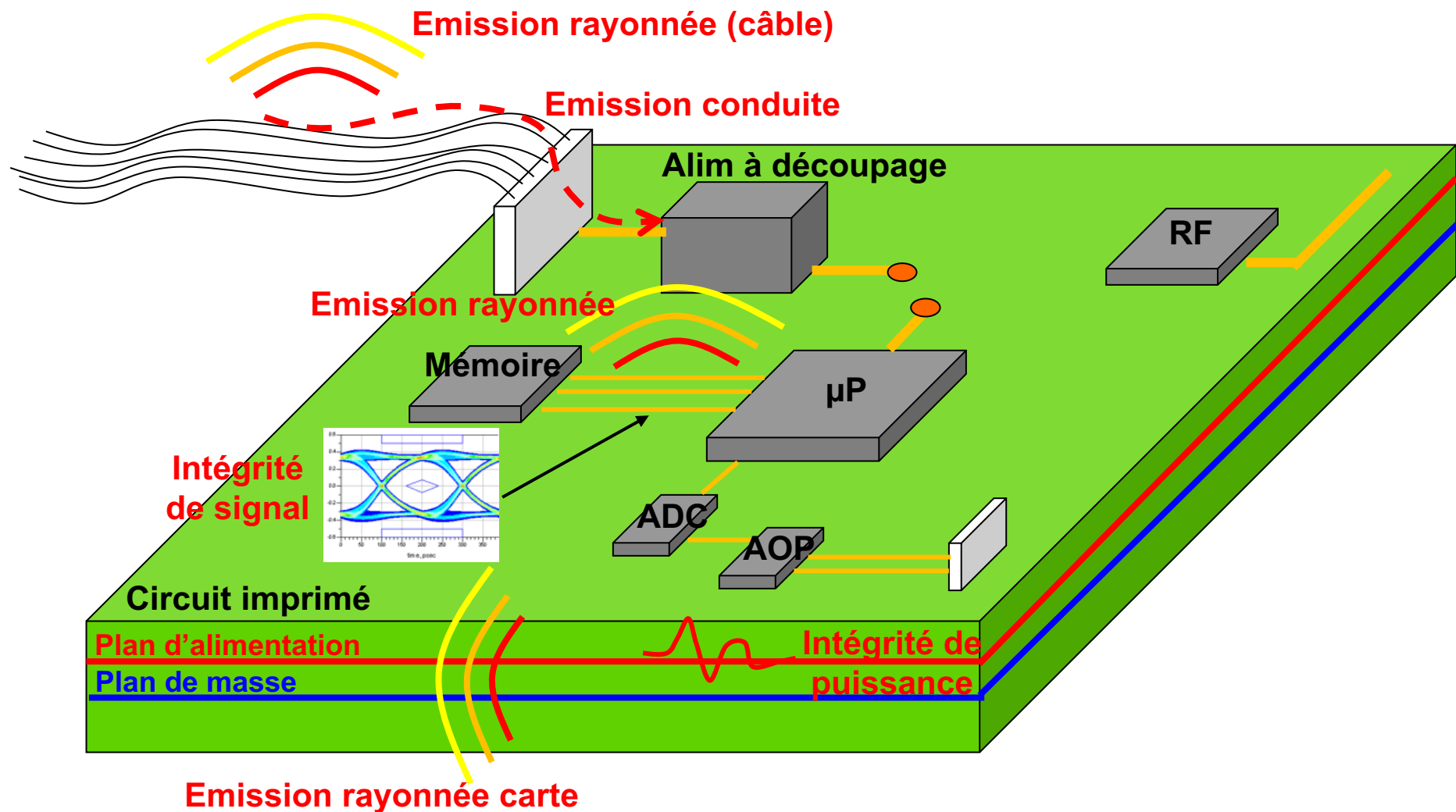
▪ Besoins :

- Des méthodes de mesure pour la caractérisation/diagnostic de la CEM
- Des méthodes de modélisation et simulation pour la CEM
- Des méthodes de conception faible bruit/faible susceptibilité



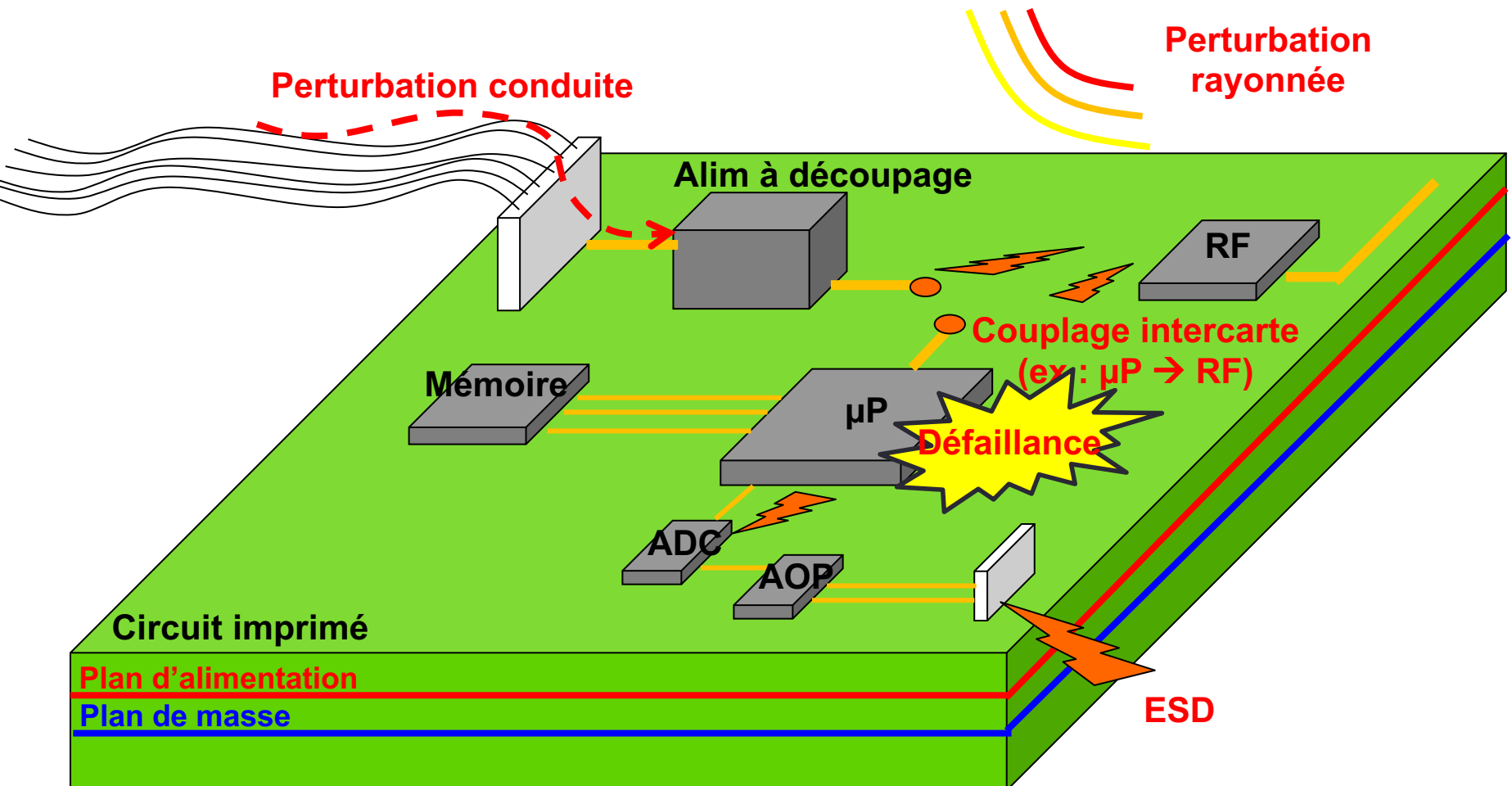
CEM des circuits intégrés (CI)

- Circuit intégré = source émission électromagnétique d'une carte électronique



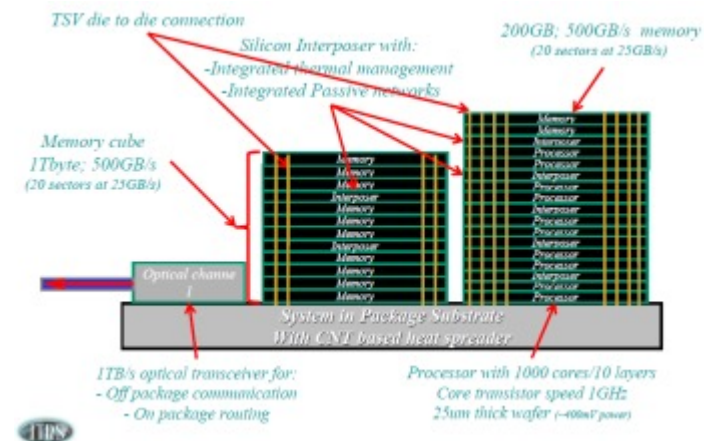
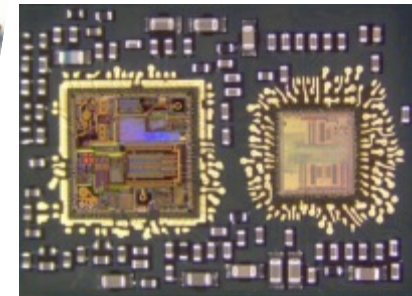
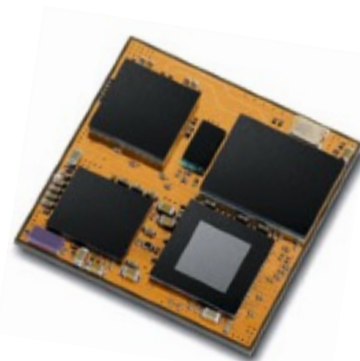
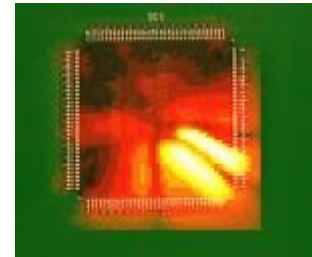
CEM des circuits intégrés (CI)

- Circuit intégré = victime des perturbations électromagnétiques couplées sur une carte électronique

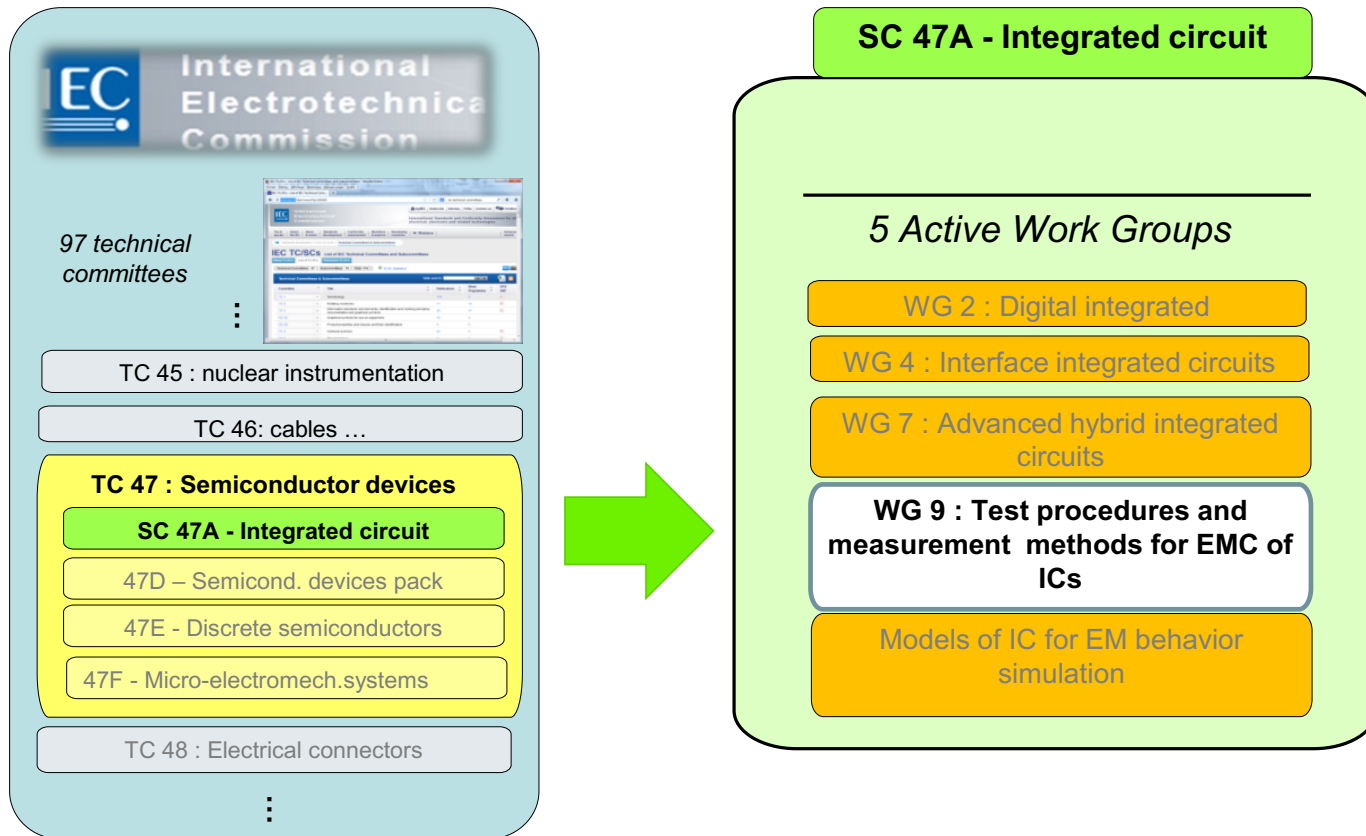


CEM des circuits intégrés (CI)

- À partir de 1996, les clients du secteur automobile ont commencé à sélectionner les circuits intégrés en fonction de critères de CEM
- À partir de 2005, l'industrie mobile a exigé la CEM dans les systèmes en boîtier.
- L'intégration 3D massive nécessite une conception CEM minutieuse.
- Absence de certification CEM ...
- Mais exigences déclinées de l'équipement vers le circuit.
- Existence de normes de mesure et de modélisation pour la CEM des CI.



Méthodes de mesure pour la CEM des CI



- Vérification de la conformité CEM des CI (émission et susceptibilité).
- Comparaison des performances CEM entre différents CI.
- Amélioration de l'interaction entre les clients et les fournisseurs (mêmes protocoles, même configuration)

Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Vue d'ensemble des méthodes de mesure de l'émission électromagnétique (IEC 61967) :

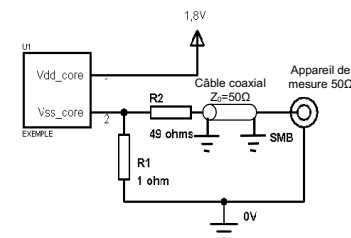
IEC 61967-2: TEM and GTEM, 1 – 18 GHz



IEC 61967-3 Technical specification: Near field scan, 1-5GHz



IEC 61967-4:
1/150 ohms, 1 GHz

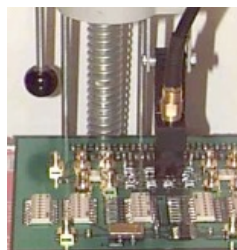


IEC 61967-5:
WBFC, 1 GHz



withdraw

IEC 61967-6
Magnetic field probe,
1GHz

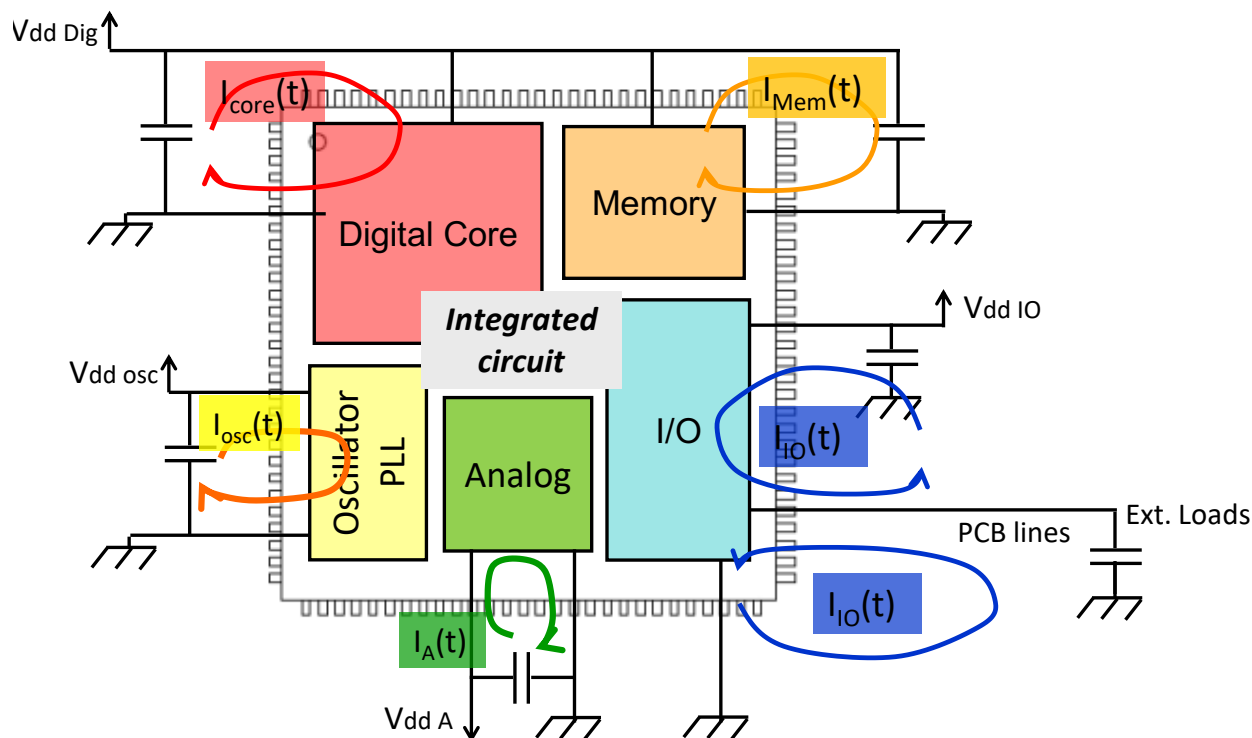


IEC 61967-8:
IC-Stripline, 3 - 6 GHz



Méthodes de mesure pour la CEM des CI

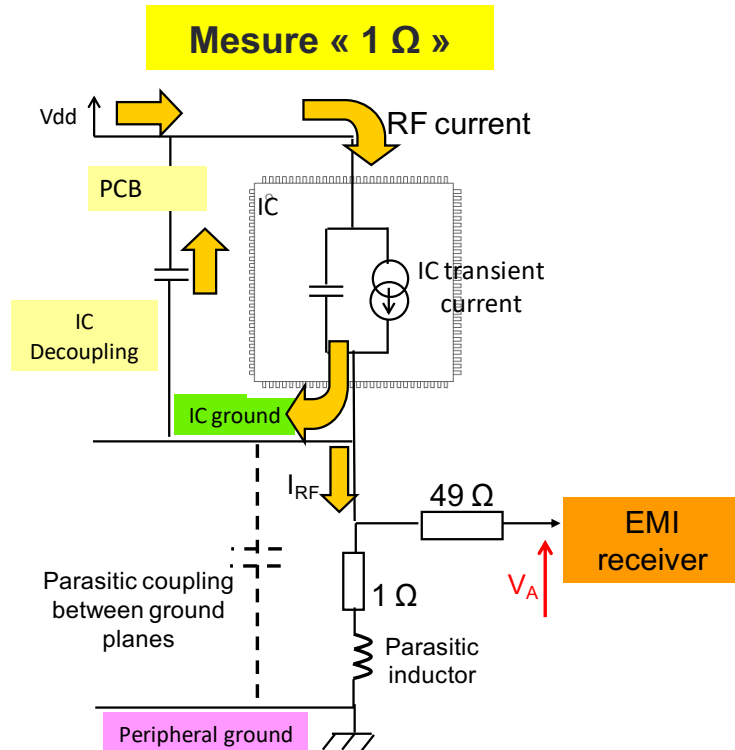
- Emission conduite des circuits intégrés :
 - Liée à l'activité interne (bruit conduit sur les paires Vdd/Vss) et commutation des I/O.
 - Caractérisation du courant/tension transitoire sur broches d'alimentation et I/O.



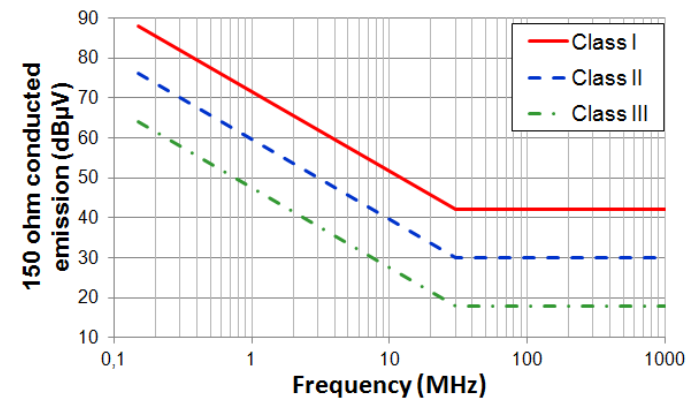
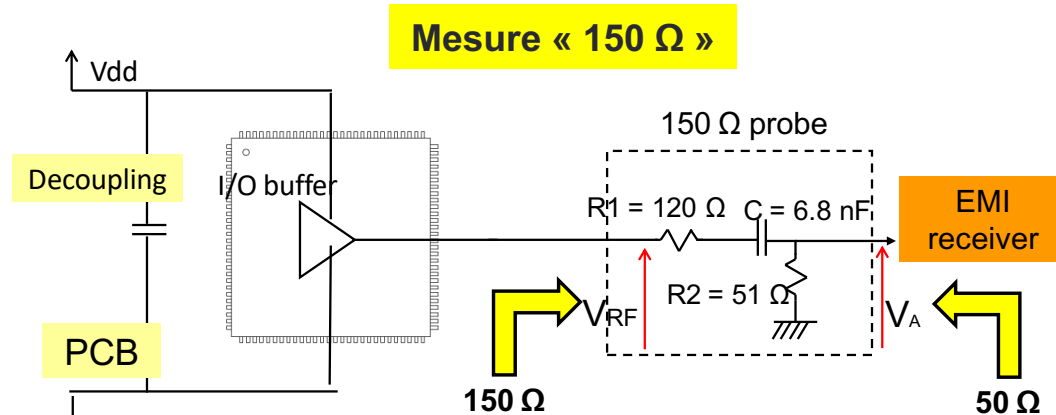
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Emission conduite des CI: IEC 61967-4 (mesure 1 Ω / 150 Ω)

Mesure « 1 Ω »

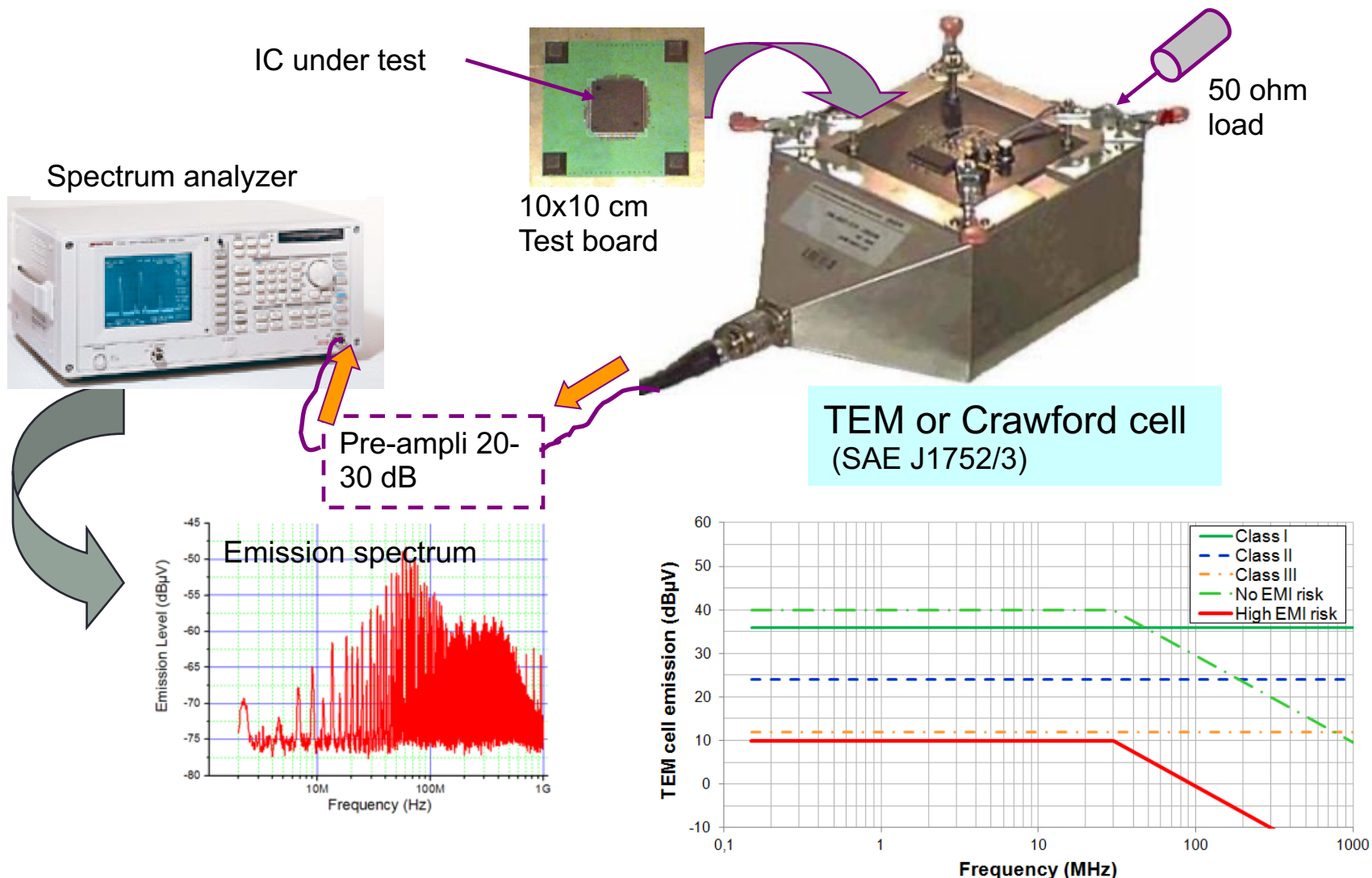


Mesure « 150 Ω »



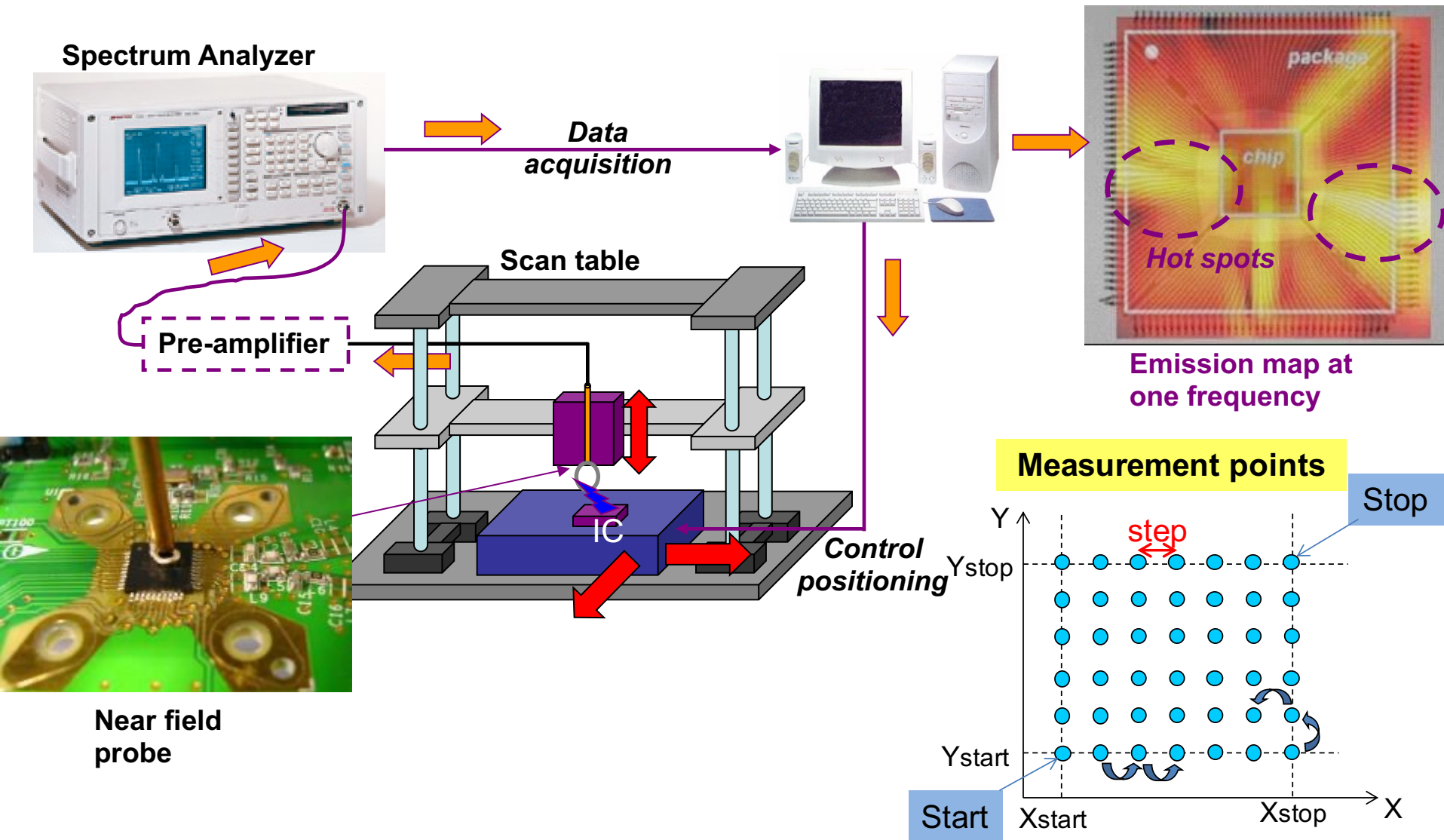
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Emission rayonnée des CI: IEC 61967-2 (mesure TEM/GTEM/IC stripline)



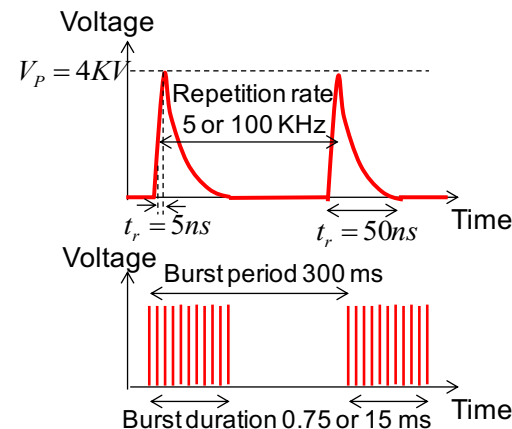
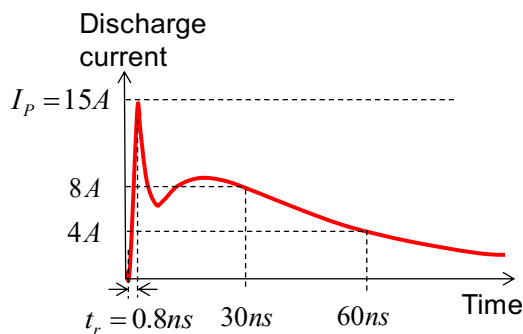
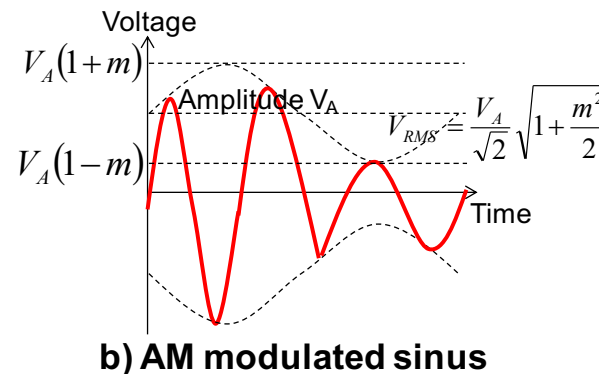
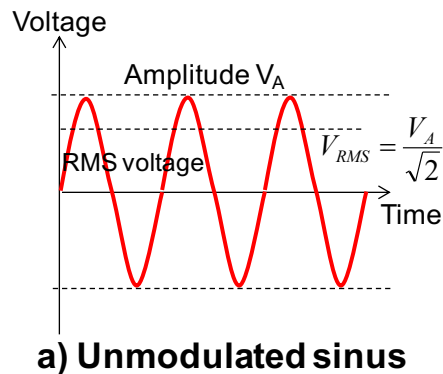
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Near-field scan (IEC 61967-3) – Investigation de l'émission EM



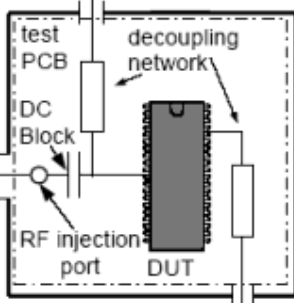
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Susceptibilité :
 - des formes d'onde standardisées pour les signaux perturbateurs testés.
 - Vérification de l'immunité à un niveau max. prédéfini.



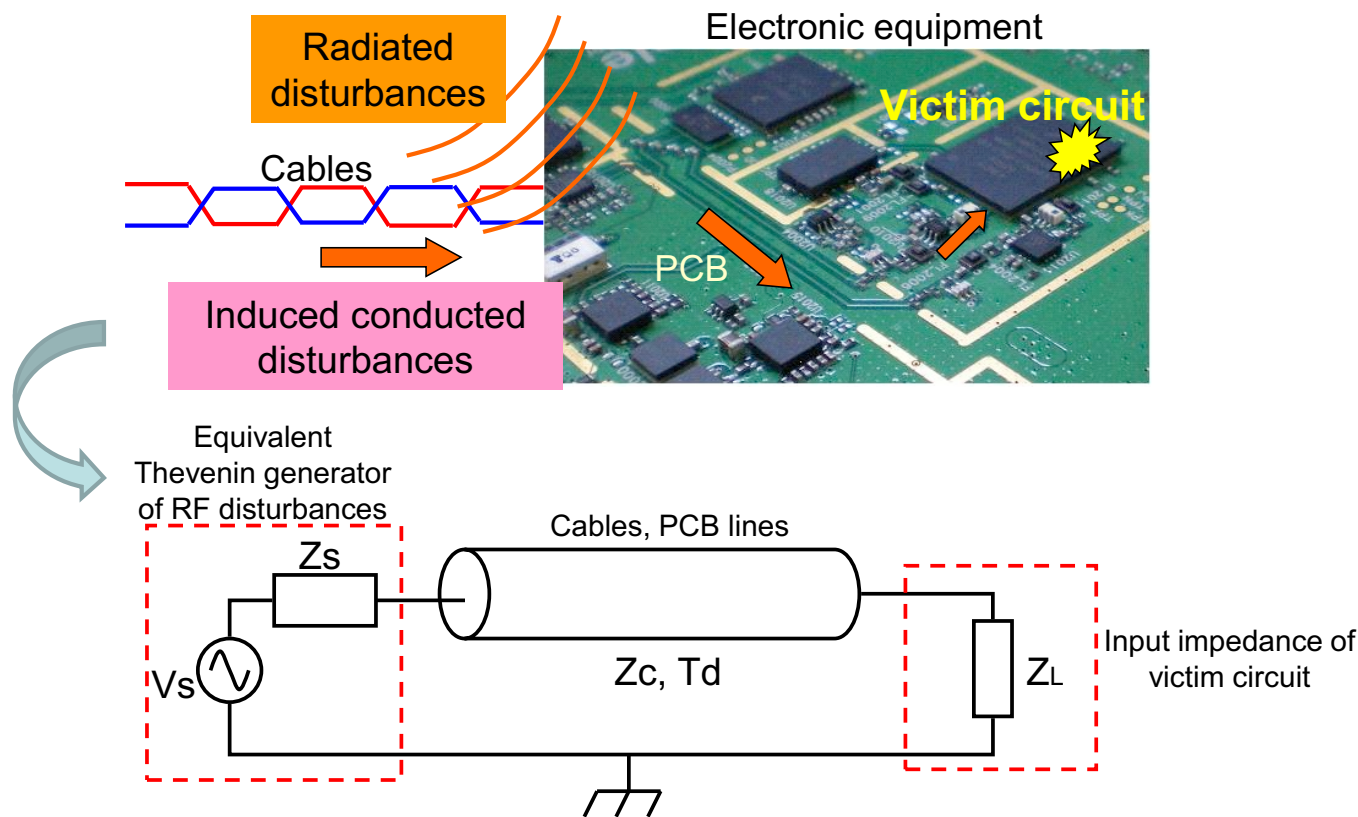
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Vue d'ensemble des méthodes de mesure de la susceptibilité électromagnétique (IEC 62132)

IEC 62132-2: TEM and GTEM, 1 - 18GHz 	IEC 62132-3: Bulk Current Injection, 1 GHz 	IEC 62132-4: Direct Power Injection, 1 GHz 
IEC 62132-5: WBFC, 1 GHz  withdraw	IEC 62132-8: IC-Stripline, 3/6 GHz 	

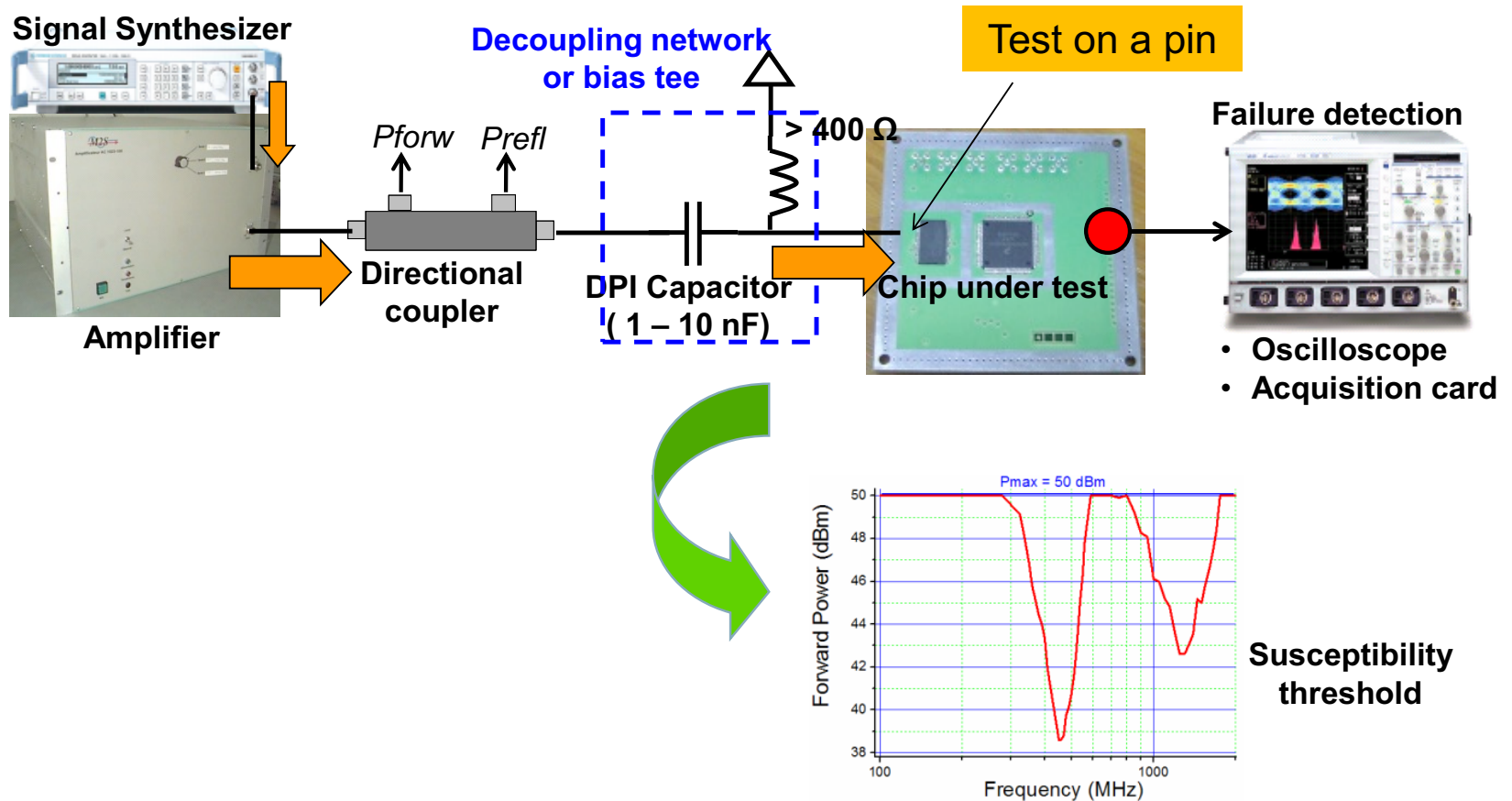
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Susceptibilité conduite des CI: IEC 62132-4 (Direct Power Injection) : test d'immunité d'une broche de CI



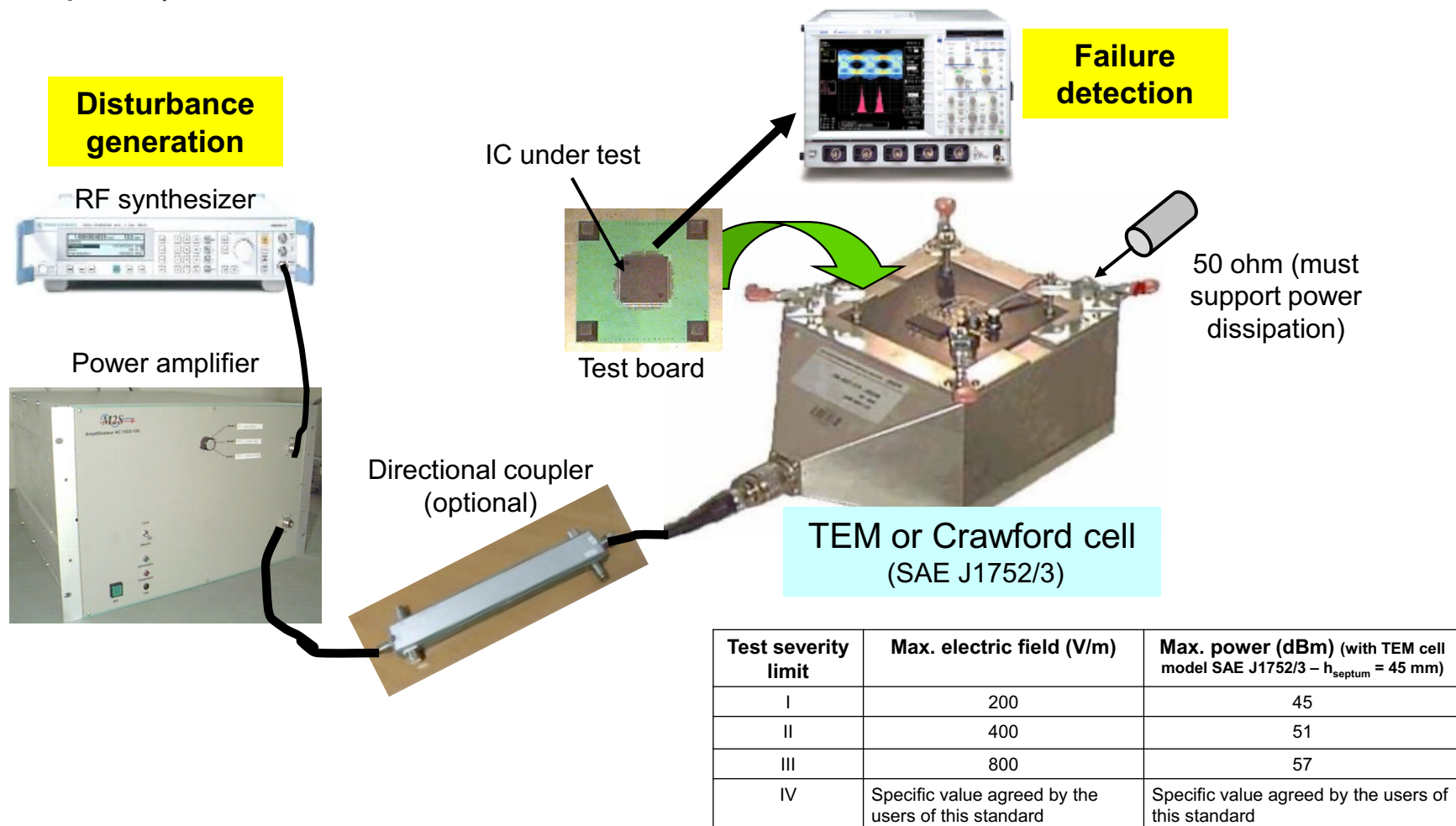
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Susceptibilité conduite des CI: IEC 62132-4 (Direct Power Injection) : test d'immunité d'une broche de CI



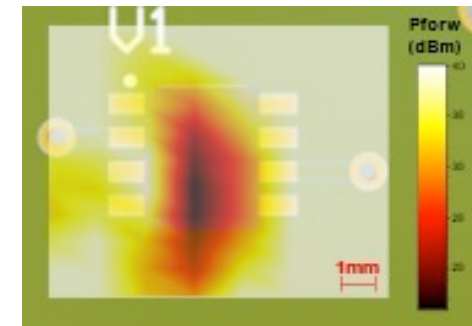
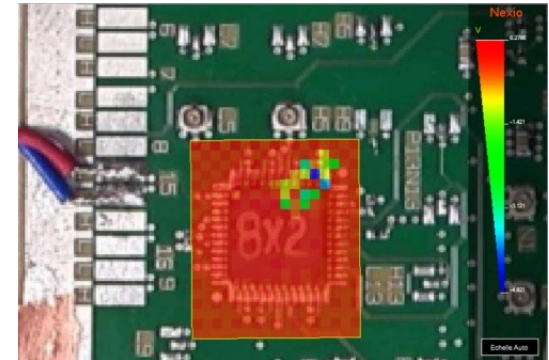
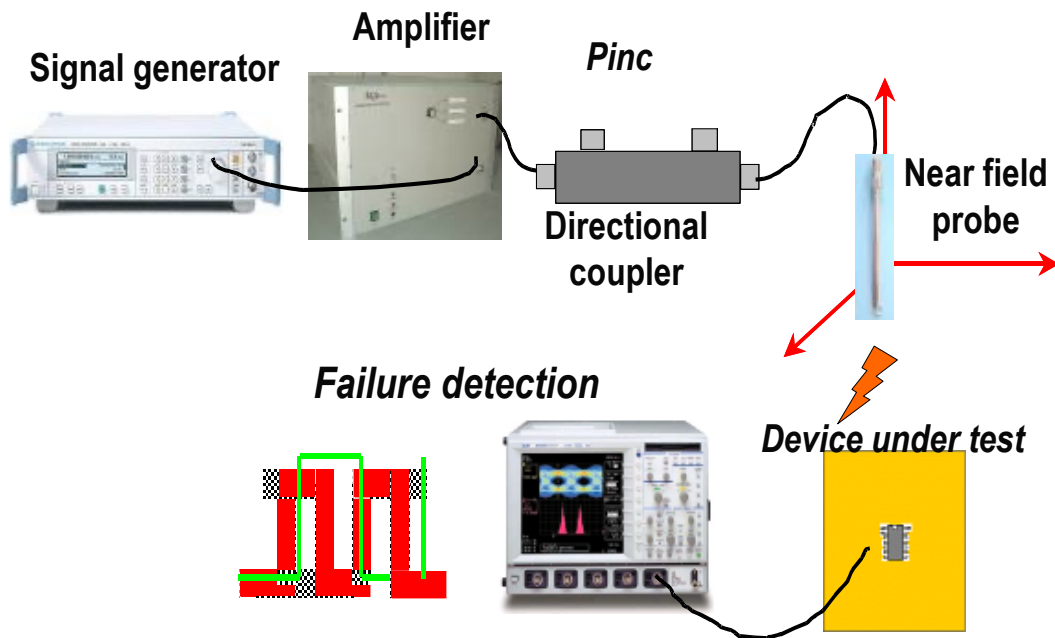
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Susceptibilité rayonnée des CI: IEC 62132-2 (mesure TEM/GTEM/IC stripline)



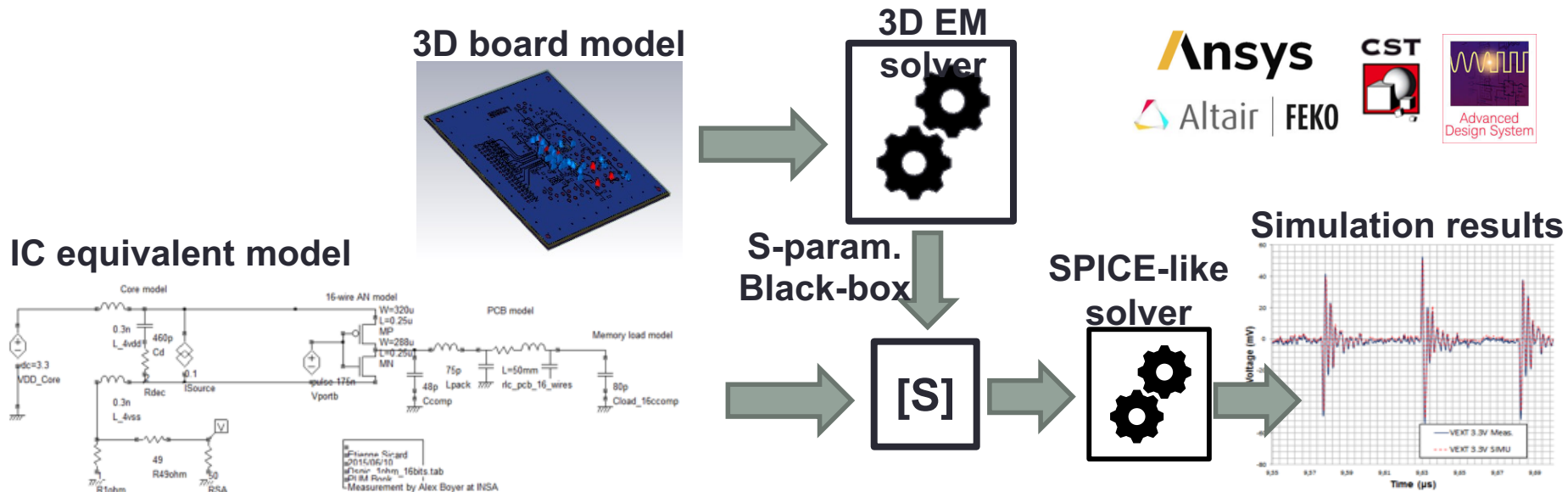
Méthodes de mesure pour la CEM des CI

- Near-field scan (IEC 62132-9) – Investigation de la susceptibilité EM par injection localisée (champ E ou H)



Modélisation de la CEM des CI

- Modélisation de la CEM d'une carte électronique



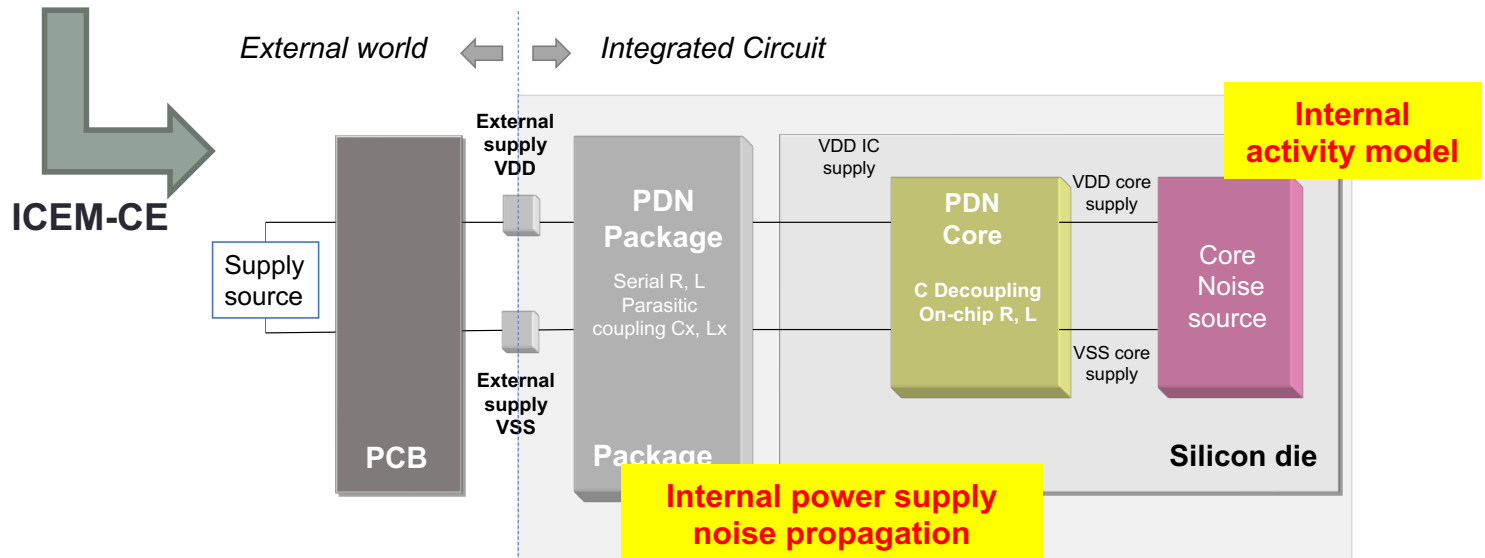
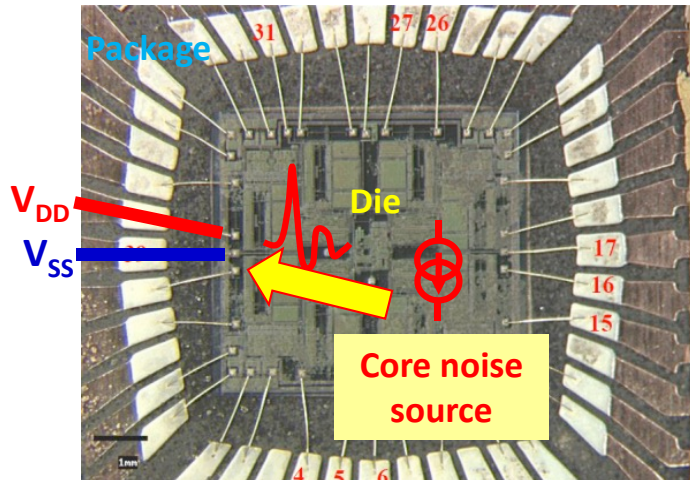
- Verrous :
 - Complexité, temps de simulation, risque de non-convergence
 - Prise en compte des incertitudes
 - Disponibilité des modèles de CI (confidentialité des données)**



Besoin d'un modèle équivalent dédié, non confidentiel, potentiellement basé sur des mesures.

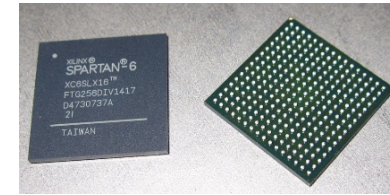
Modélisation de la CEM des CI

- Modèle IEC 62433-2 : ICEM-CE (Integrated Circuit Emission Model for Conducted Emission)

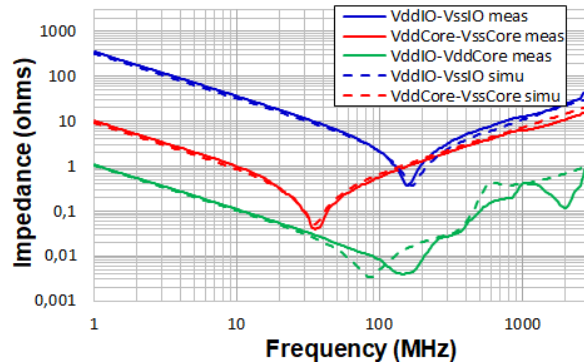
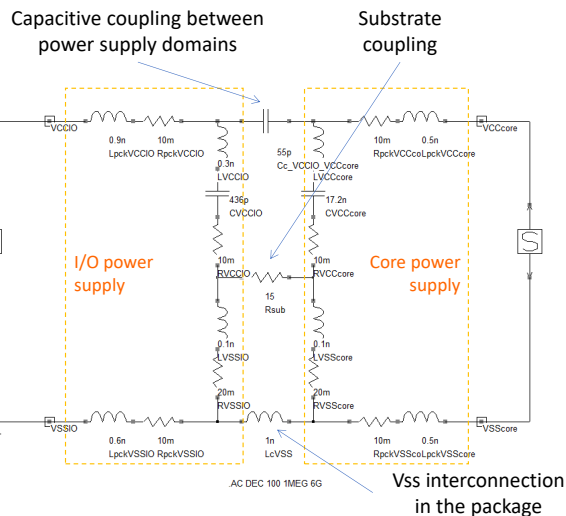


Modélisation de la CEM des CI

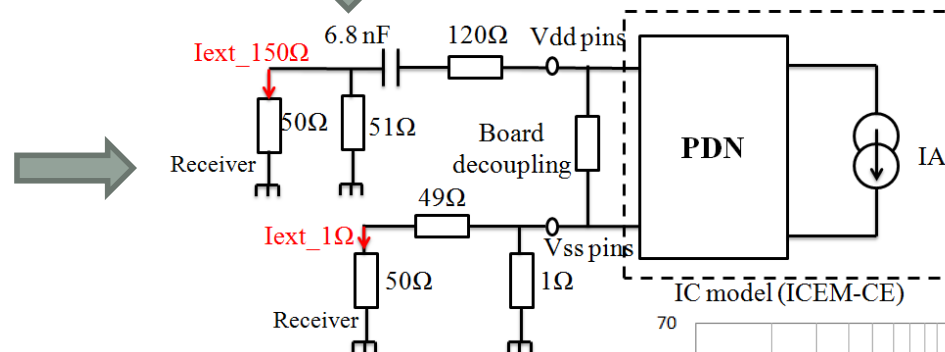
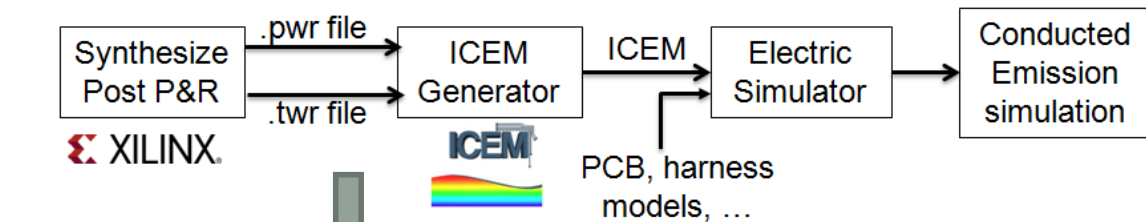
- Modèle ICEM-CE – Exemple : émission conduite produite par un FPGA



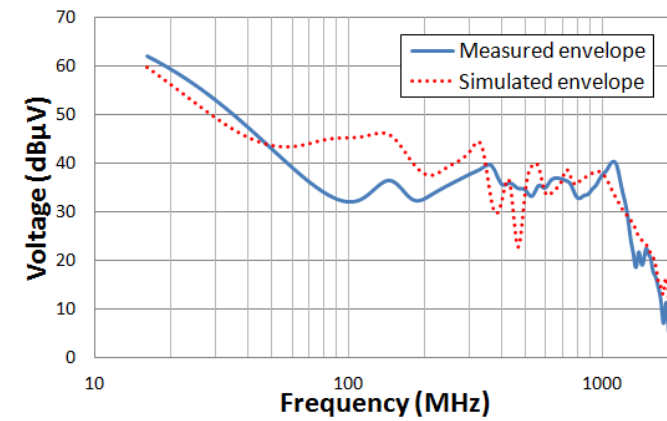
Power distribution network model



Internal activity model extraction

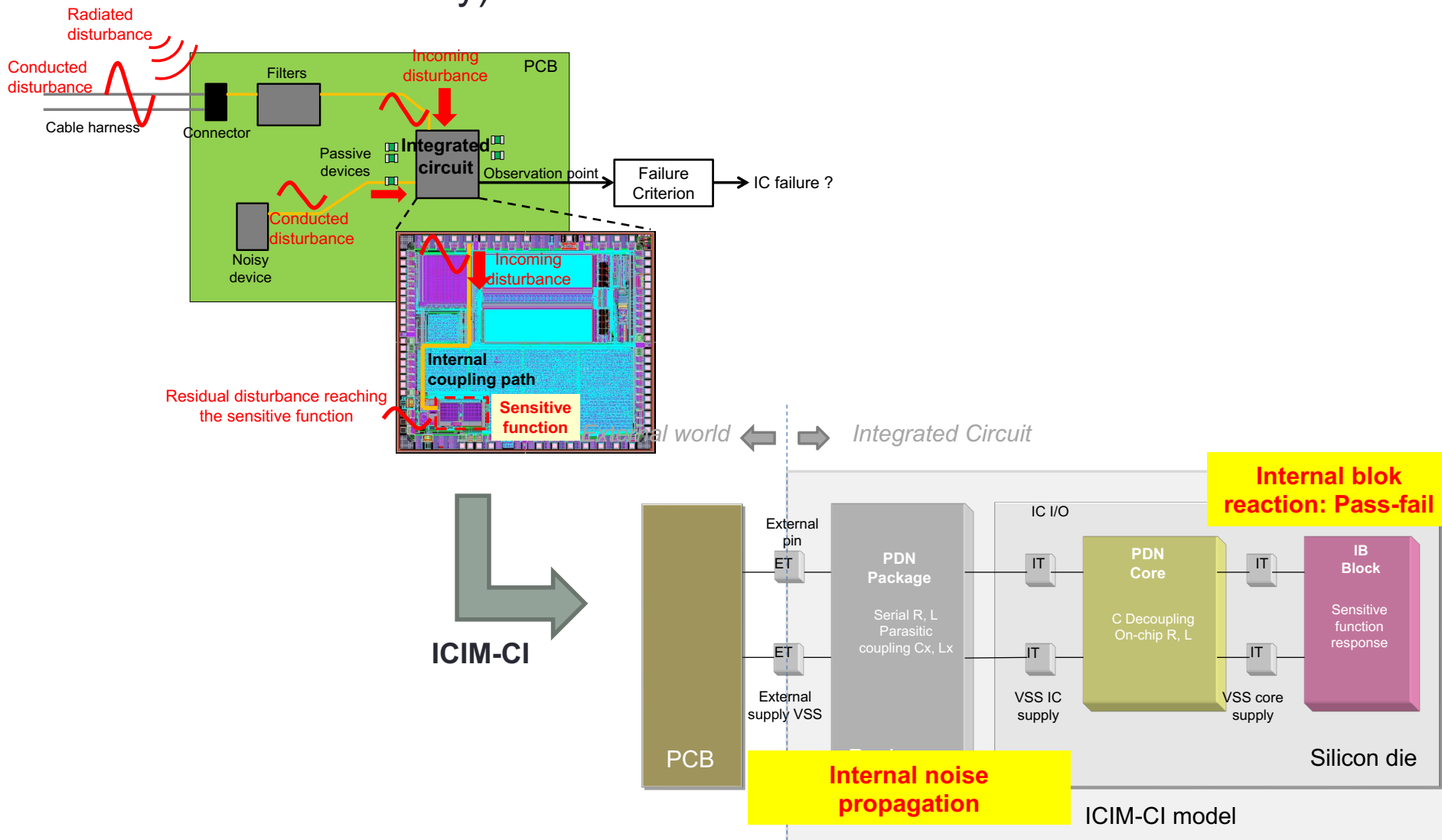


Simu. Émission conduite



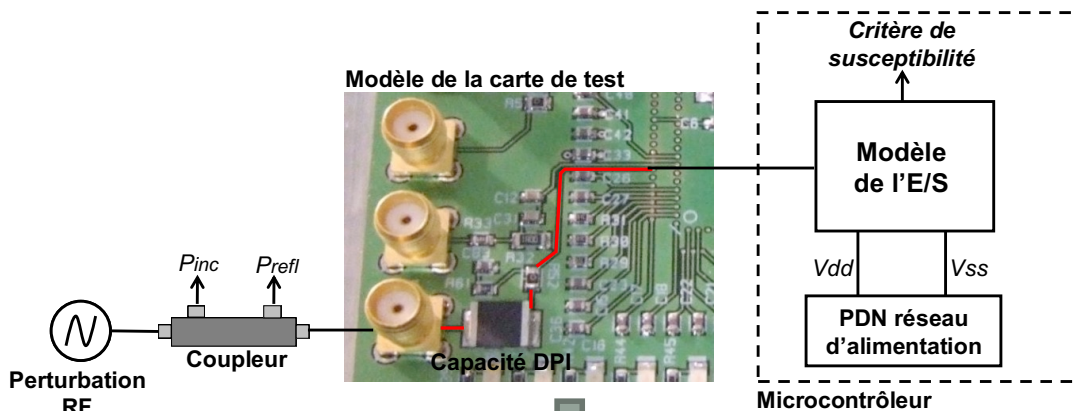
Modélisation de la CEM des CI

- Modèle IEC 62433-4 : ICIM-CI (Integrated Circuit Immunity Model for Conducted Immunity)

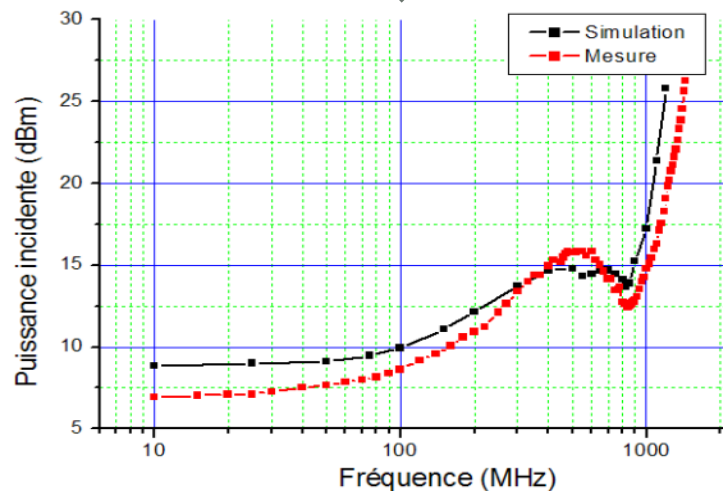


Modélisation de la CEM des CI

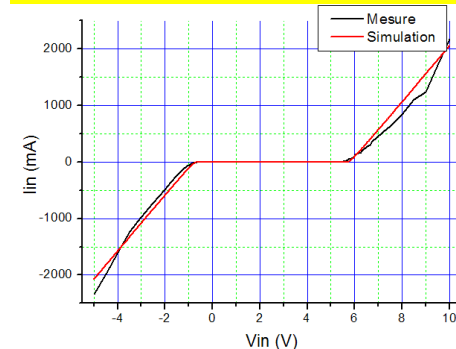
- **Modèle ICIM-CI – Exemple : Immunité conduite RF d'une I/O digitale**



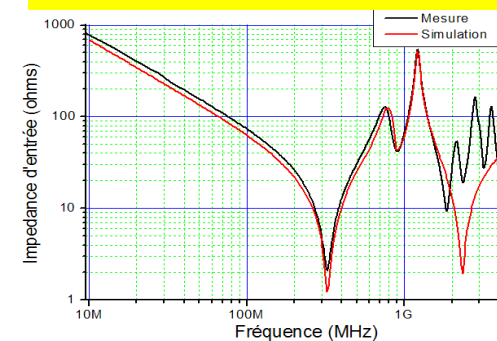
Simu. immunité conduite



Modèles protections ESD



Modèles impédance entrée/réseau d'alim



Conclusion

- Objectif de la CEM : garantir le bon fonctionnement des systèmes électroniques face aux perturbations électromagnétiques dans des conditions de fonctionnement nominales.
- Contrainte liée à une exigence réglementaire.
- Vérification basée sur des approches normalisées.

- Challenges actuels / futures :
 - Montée en fréquence
 - Des systèmes plus complexes et plus autonomes
 - → Vers des approches d'évaluation du risque
 - Menaces liées à la cybersécurité