

# Étude probabiliste de l'environnement électromagnétique généré dans un véhicule automobile

---

**Fatou DIOUF \***

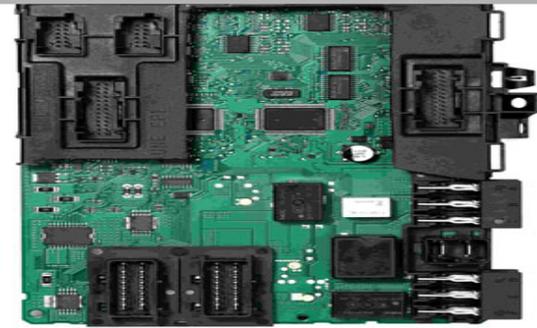
**Fatou.Diouf@lasmea.univ-bpclermont.fr**

**S. Lalléchère\*/ F. Paladian\*/ M. Klingler+/ M. Fogli°**

**\*LASMEA / + PSA / ° LAMI**

# PLAN DE LA PRESENTATION

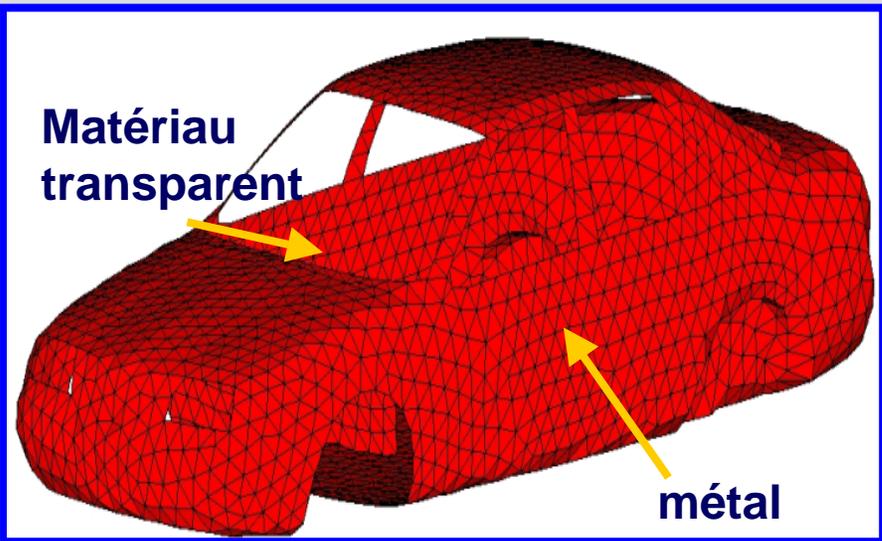
- Contexte
- Densités de probabilité en Chambre Réverbérante à Brassage de Modes
- Comparaison entre l'environnement é.m d'un véhicule automobile et celui généré en CRBM
- Estimateurs des paramètres du second ordre du champ électromagnétique
- Conclusion



❑ Prolifération des appareils électroniques dans les véhicules automobiles

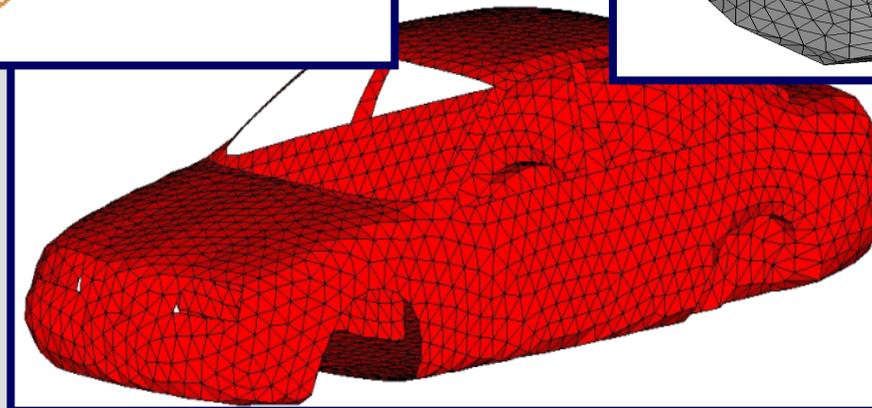
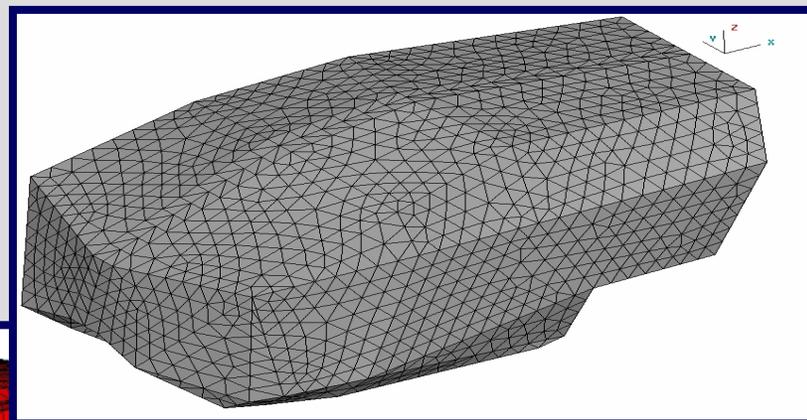
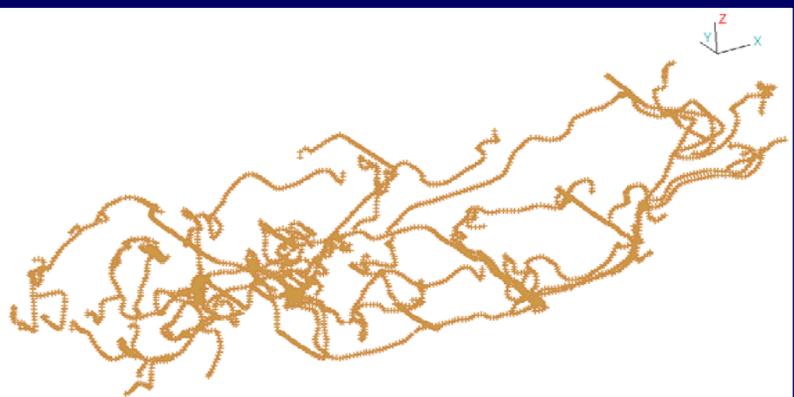


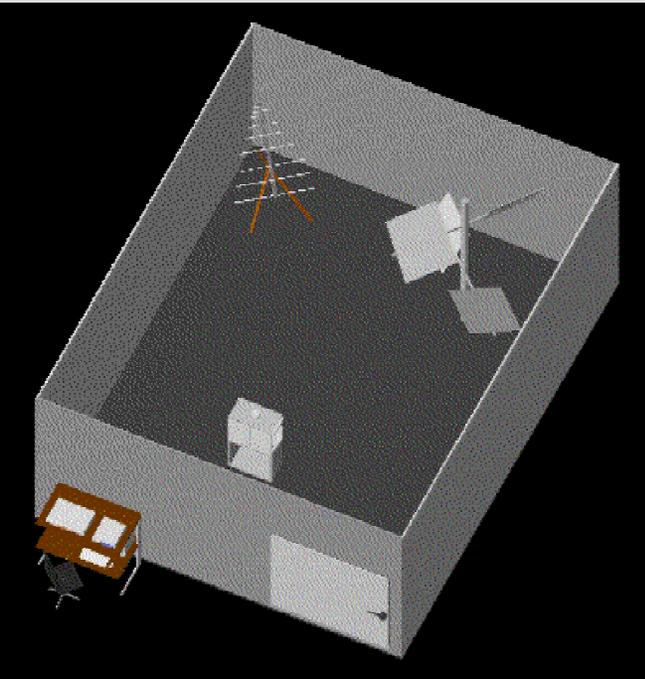
❑ CRBM → moyen d'essai alternatif pour les équipements automobiles



❑ Environnement véhicule automobile comparable à un environnement réverbérant?

- Résultats expérimentaux CRBM
- Simulation réaliste du véhicule PSA Peugeot Citroën: antenne située sur le toit du véhicule
- Fréquences: 27MHz, 85MHz, 146MHz, 172MHz, 390MHz, 433MHz, 900MHz
- ✓ Emplacement des faisceaux
- ✓ Habitacle du véhicule





➤ Fréquence  $f$

➤ Point M du Volume Utile



➤ Variable aléatoire

➤ **CRBM idéale (Hill): homogène et isotrope**

- Parties réelle et imaginaire: indépendantes, gaussiennes



Module des composantes du champ électrique: loi de Rayleigh d'ordre 2

➤ Imperfections de la CRBM réelle



Fréquence limite:  
légitimité des  
hypothèses



Tests  
statistiques

## ➤ Tests statistiques d'hypothèses

❑ Rejet ou non- rejet

❑ Comparaison densités de probabilité expérimentale et théorique



### ➤ Test de Kolmogorov-Smirnov (Test de KS)

❑  $Dis = \max |F_{exp}(x) - F_{théo}(x)|$

❑ Toutes les informations contenues dans l'échantillon



300MHz-

$\alpha = 5\%$

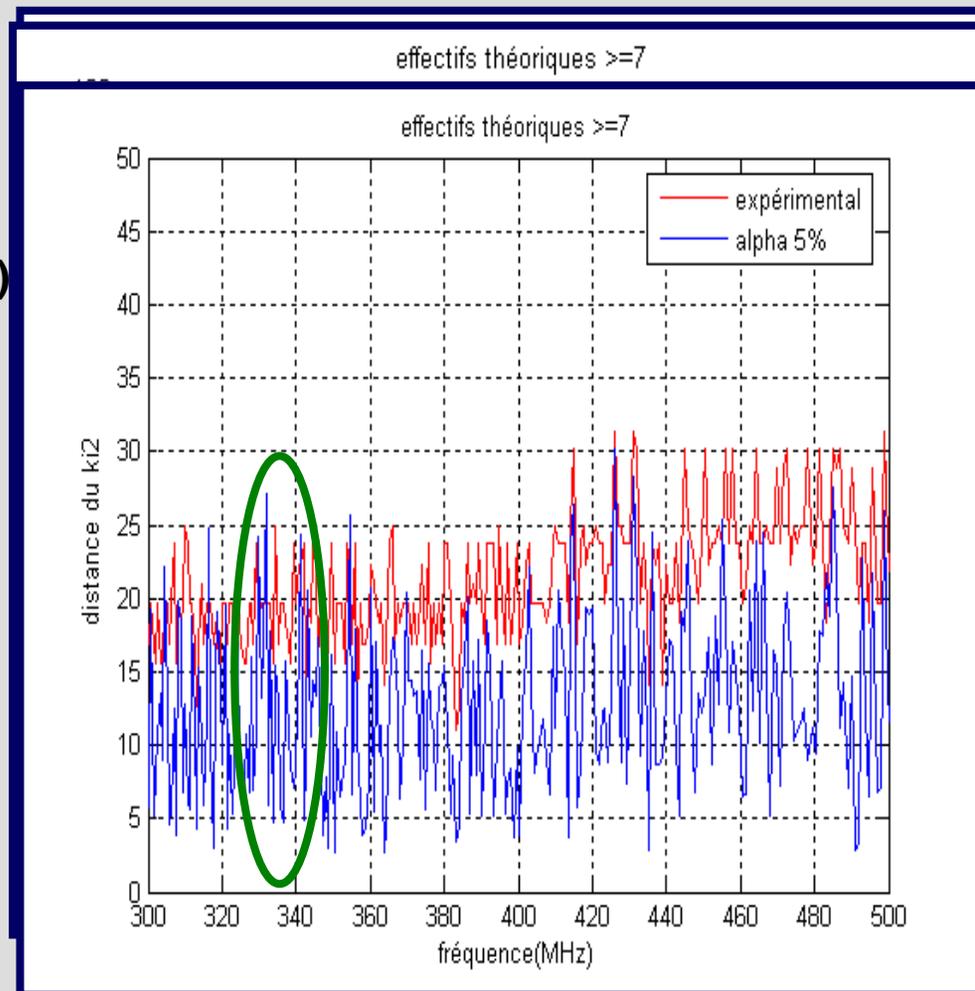
### ➤ Test d'adéquation du $\chi^2$ de Pearson



340MHz-

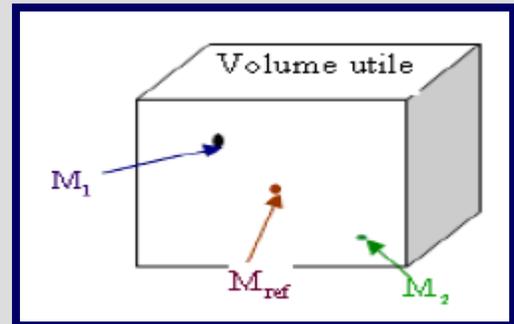
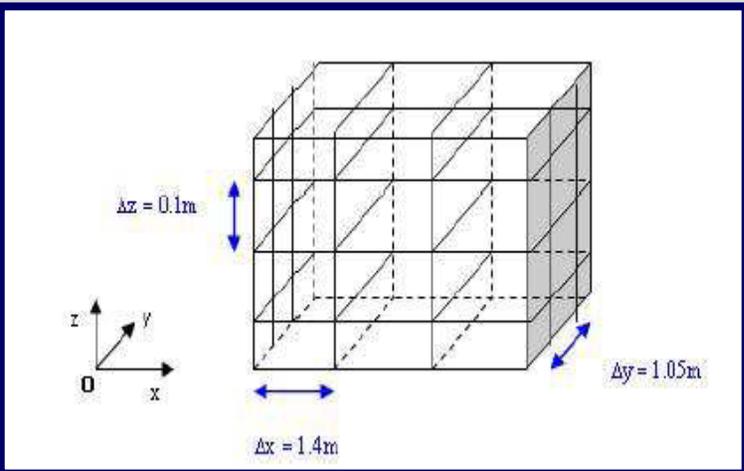
$\alpha = 5\%$

➤ CRBM-LASMEA (8.4m\*6.7m\*3.5m) : mesures de la puissance reçue normalisées



➤ Test d'homogénéité du  $\chi^2$  de Pearson

➤ CRBM LASMEA: mesures de champ



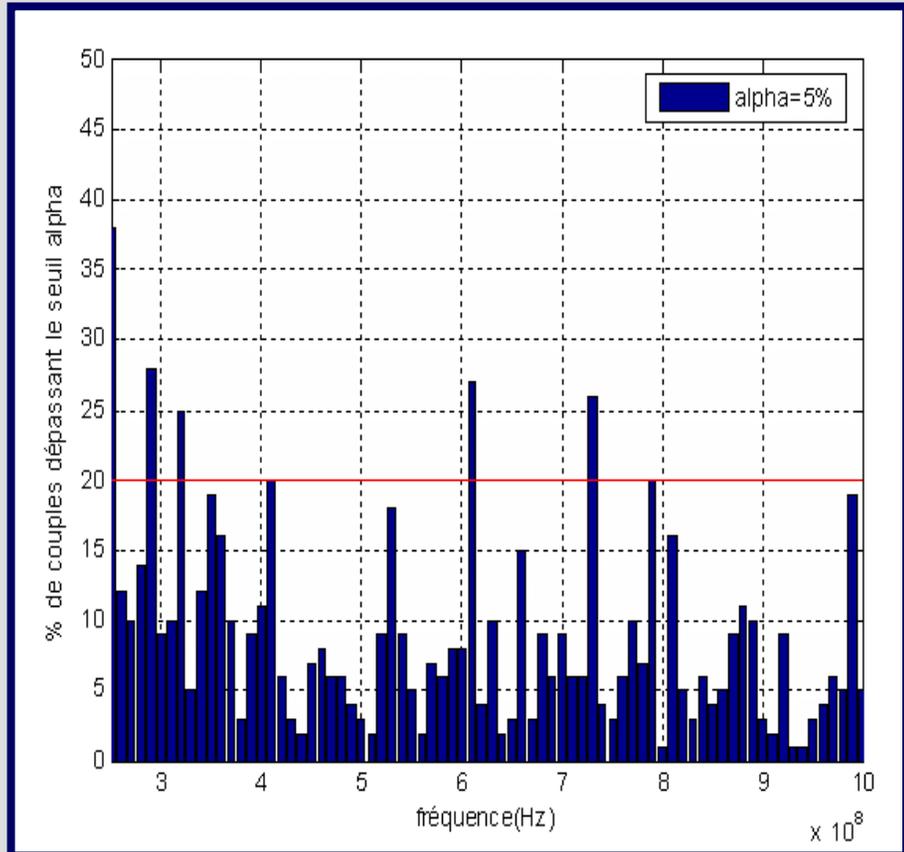
$(M_{ref}, M_j)_{j=1, \dots, 79}$

$M_{ref}$  Centre du Volume Utile



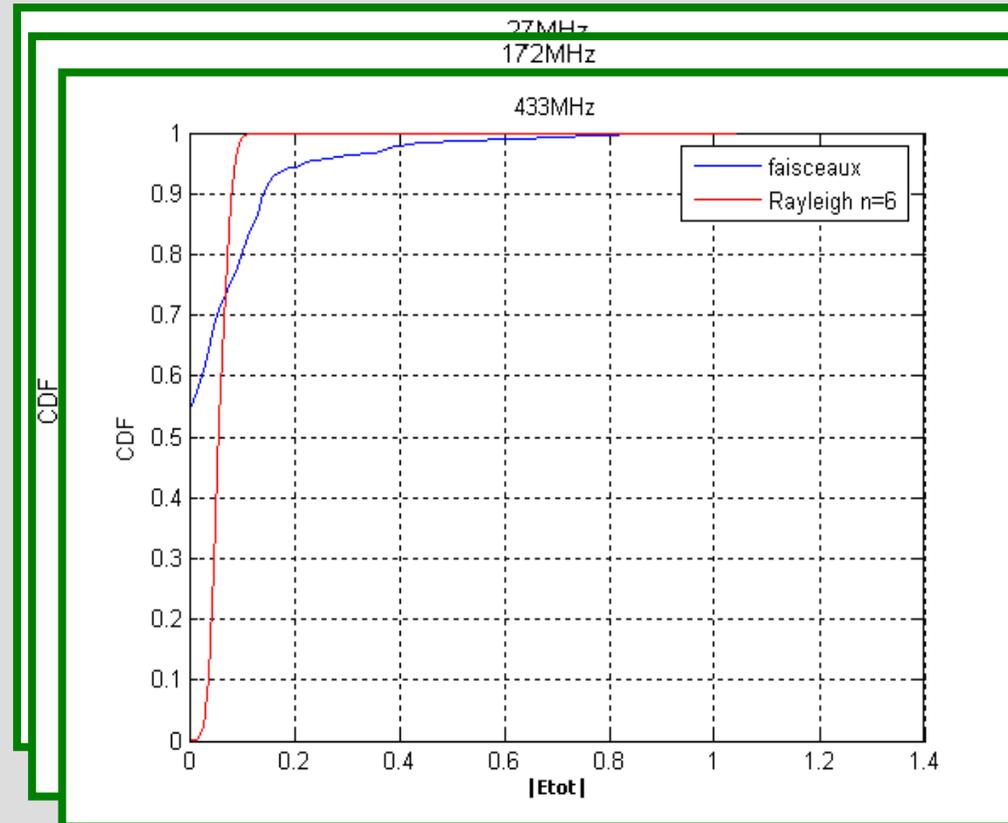
$\alpha = 5\%$

340MHz -  
20% couples



❖ 3072 échantillons sur les faisceaux de la voiture

❖ Fréquences: 27MHz, 85MHz, 146MHz, 172MHz, 390MHz, 433MHz, 900MHz



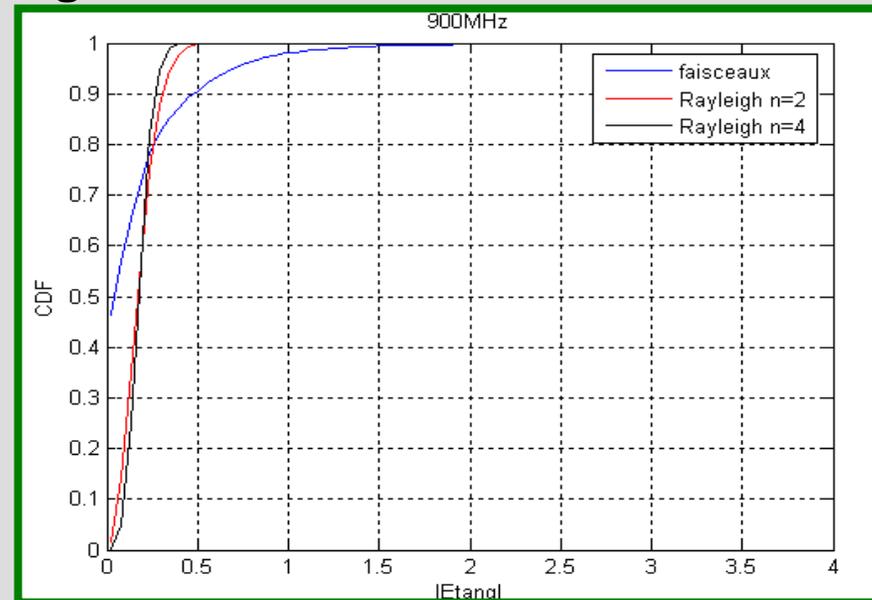
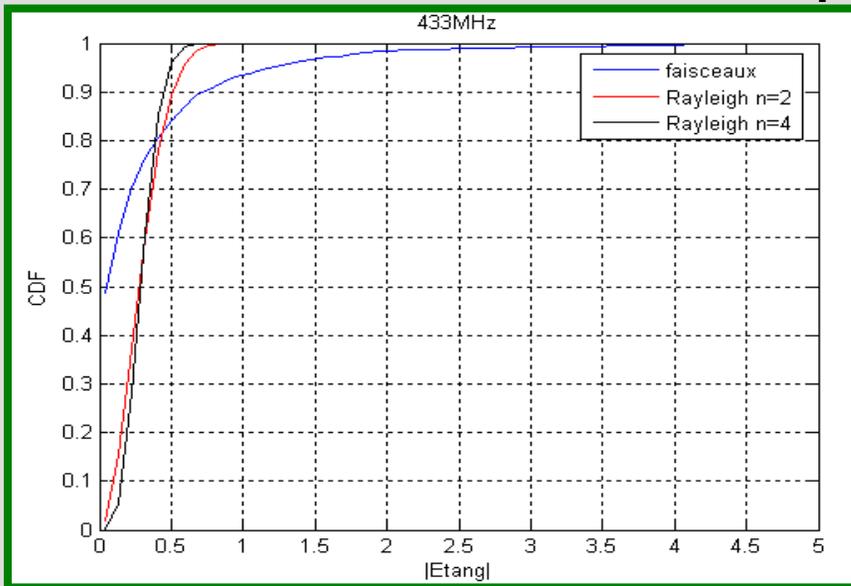
➤ Champ total

➤ Champ tangentiel: terme source des équations de couplage décrivant le comportement des câblages (formalisme d'Agrawal)

❖ 3072 échantillons sur les faisceaux de la voiture

❖ Fréquences: 27MHz, 85MHz, 146MHz, 172MHz, 390MHz, 433MHz, 900MHz

### ➤ Champ tangentiel



➤ Environnement électromagnétique des appareils électroniques différent de celui d'une CRBM

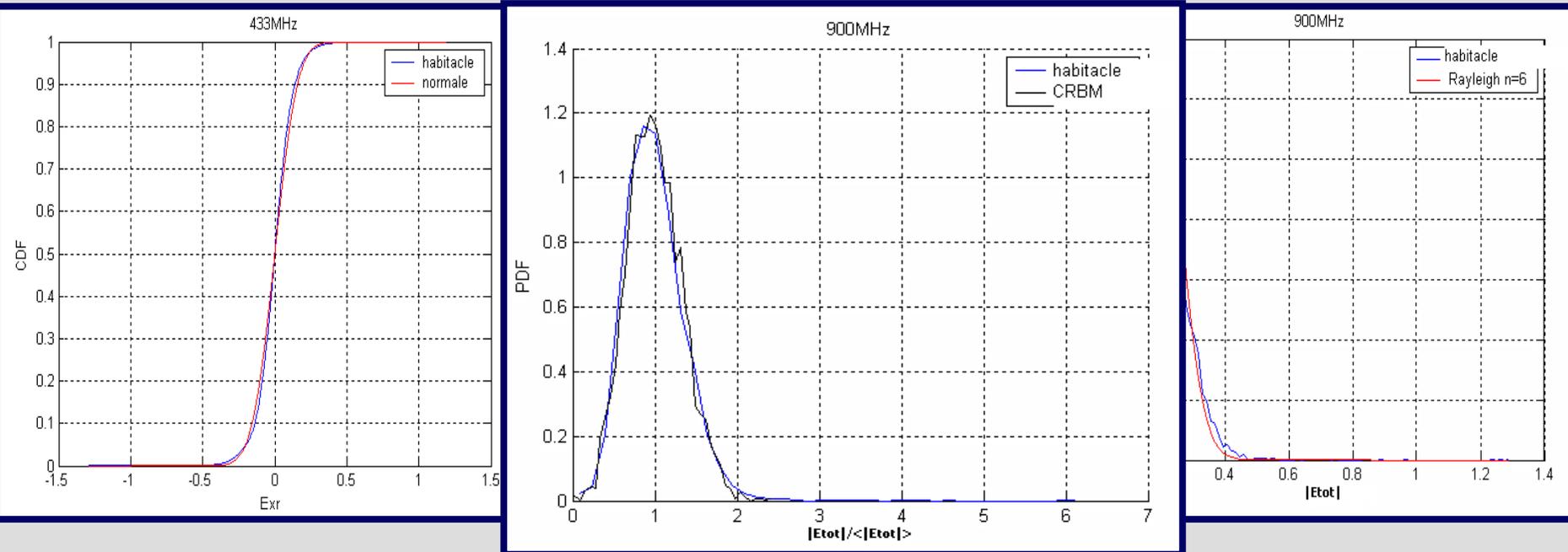
➤ Réadaptation des protocoles de mesure



➤ Plan de masse

❖ 8111 échantillons dans l'habitacle de la voiture et 4080 échantillons en CRBM

❖ Fréquences: 27MHz, 85MHz, 146MHz, 172MHz, 390MHz, 433MHz, 900MHz

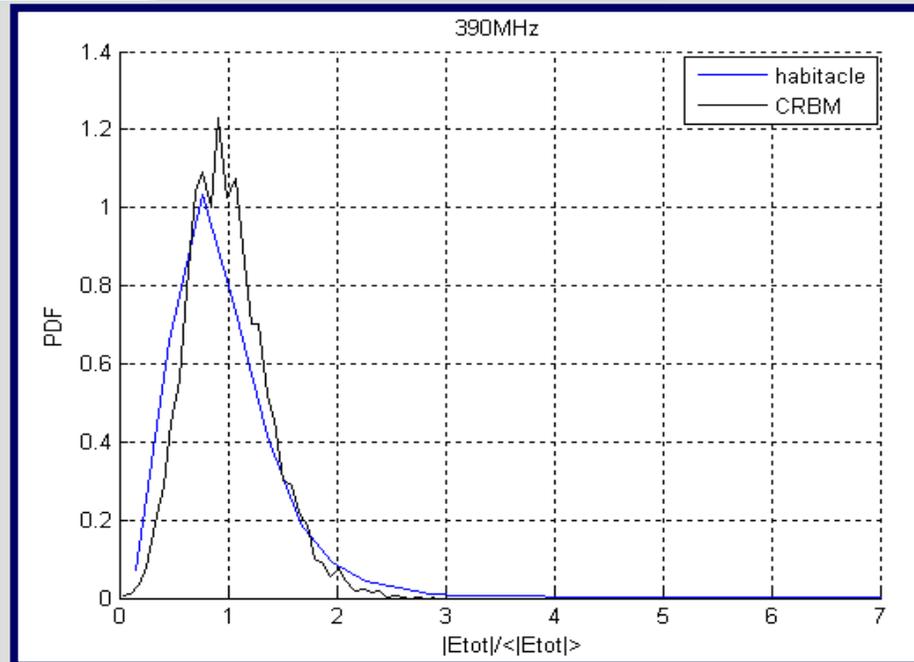
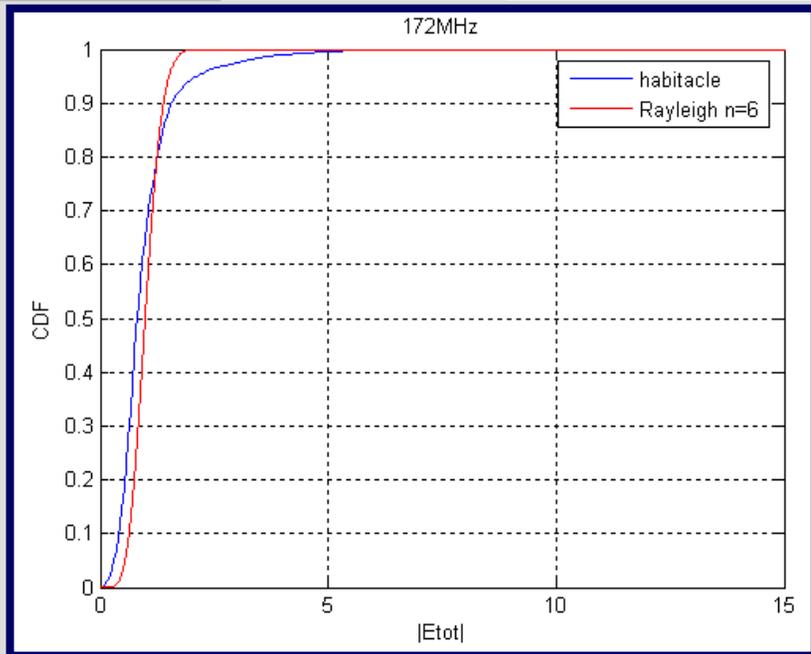


❑ 433MHz et 900MHz

○ parties réelles et imaginaires des composantes cartésiennes du champ électrique

$$N(0, \sigma^2)$$

○ modules des composantes cartésiennes: Rayleigh d'ordre 2



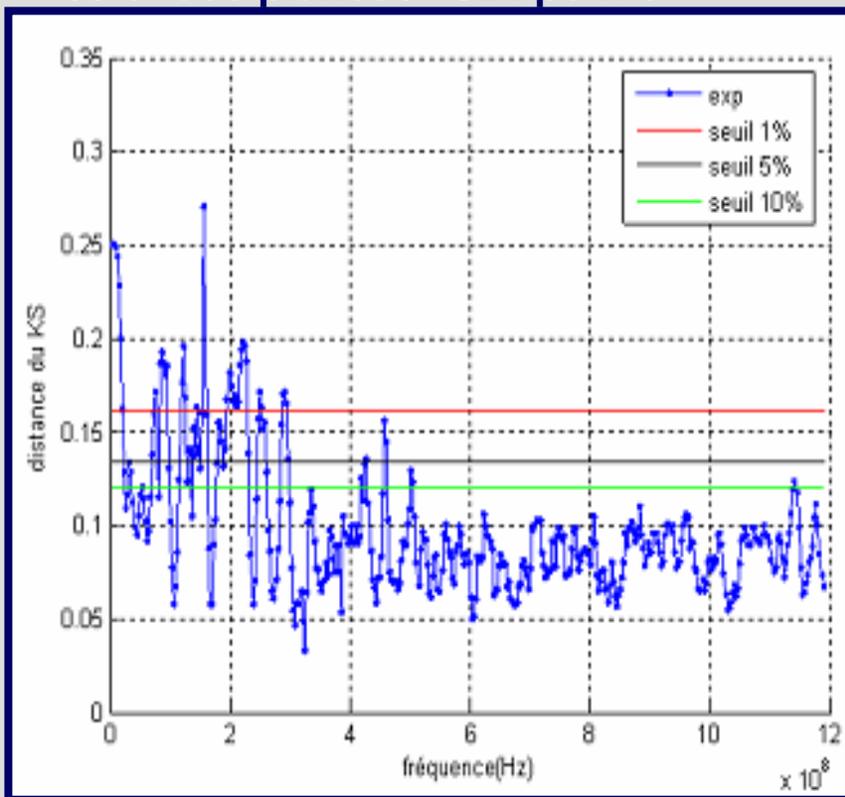
➤ habitacle comparable au VU d'une CRBM → équipements passagers, risques sanitaires,...



- Comparaison probabiliste approfondie: fonction de covariance, corrélation, ...
- Nombre suffisant de données: estimateurs

☐ Code déterministe- mise en œuvre de techniques d'estimation de champs aléatoires

- Véhicule automobile de dimensions: 4.5m\*1.7m\*1.3m
- parois parfaitement conductrices: simulations moins réalistes
- 60 ondes planes / 1024 points



➤ 510MHz

➤ Estimateurs statistiques performants utilisés en mécanique aléatoire:

$$S_{\Sigma}(\vartheta) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{\mathbb{R}^3} C_{\Sigma}(\nu) e^{-i\langle \nu, \vartheta \rangle} d\nu$$

DSP

Trajectoires: 60 ondes planes en 1024 points

$$\hat{S}_{pp,L,T}(\omega_{1,k_1}, \dots, \omega_{d,k_d}, a) = \frac{1}{(2\pi)^d} \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L |\hat{x}_p^{(l)}(k_1, \dots, k_d, a)|^2,$$

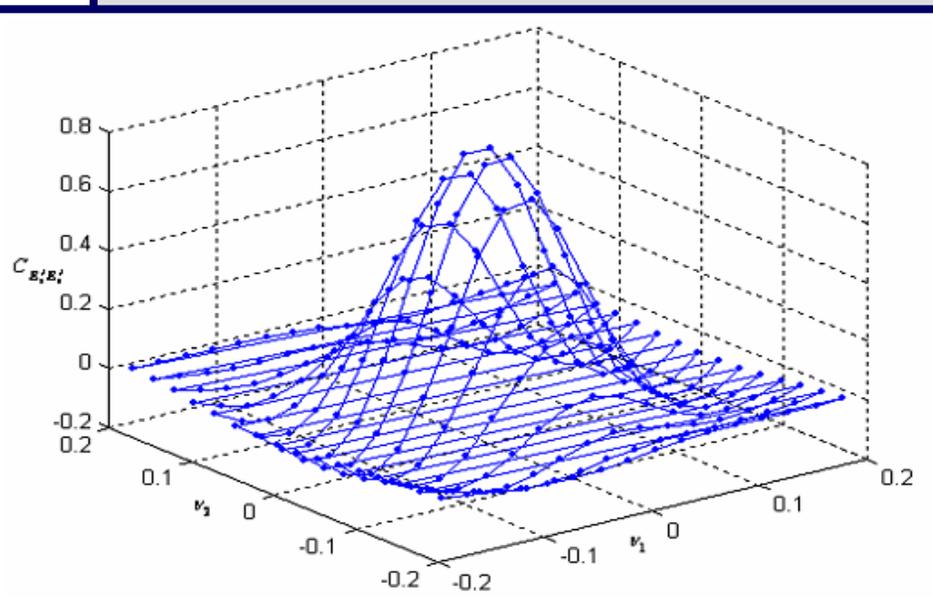
$$k_1 \in \{1, \dots, N_1\}, \dots, k_d \in \{1, \dots, N_d\}$$

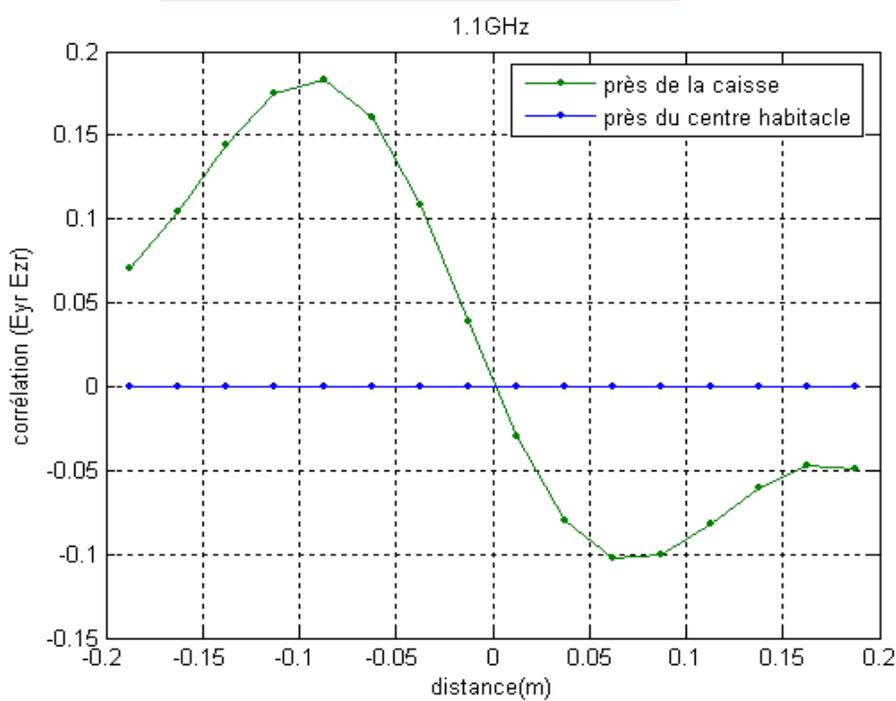
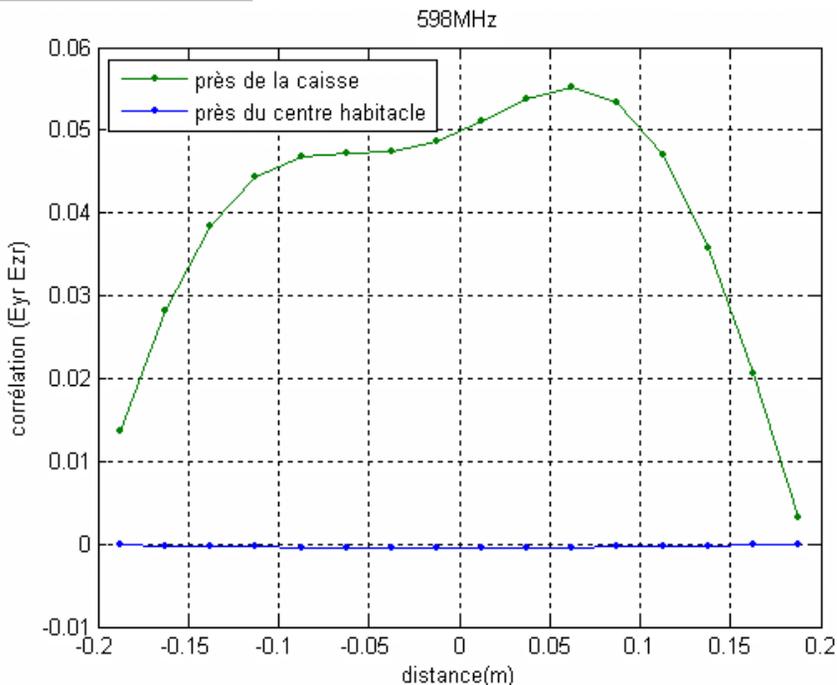
$$\rho_{pq}(\nu) = \frac{C_{pq}(\nu)}{\sqrt{C_{pp}(0)} \sqrt{C_{qq}(0)}}$$

Covariance

Coefficient de corrélation

➤ Dépendance et interdépendances du champ aléatoire





➤ Estimation des paramètres (fonction de covariance, DSP,...)



➤ Identification / Modélisation réaliste



➤ Diminution des temps de calcul

### ❖ Près de la caisse du véhicule

- Environnement électromagnétique statistiquement différent de celui généré dans le VU d'une CRBM
- Préciser les protocoles de mesures

### ❖ Distribution de Rayleigh

- Tests d'immunité des équipements situés dans l'habitacle

### ❖ Estimateurs

- Suffisamment d'échantillons
- Modélisation champ aléatoire