

# Modélisation statistique du canal de propagation Ultra Large Bande par l'analyse de mesures expérimentales

Pascal Pagani, Patrice Pajusco

Journées Scientifiques du CNFRS, 29 mars 2006



- ▶ **Introduction: la technologie Ultra Large Bande**
- ▶ **Campagne de sondage du canal ULB**
- ▶ **Caractérisation expérimentale**
- ▶ **Modèle statistique du canal ULB**
- ▶ **Conclusion**

# Introduction

## La technologie ULB

### ▶ ULB : Ultra Large Bande

$$B_r = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \geq 20\% \quad \text{ou} \quad B = f_{max} - f_{min} \geq 500 \text{ MHz}$$

- ▶ Spectre défini par la FCC : 3,1 GHz – 10,6 GHz
- ▶ Applications : réseaux locaux haut débit, domotique, ...

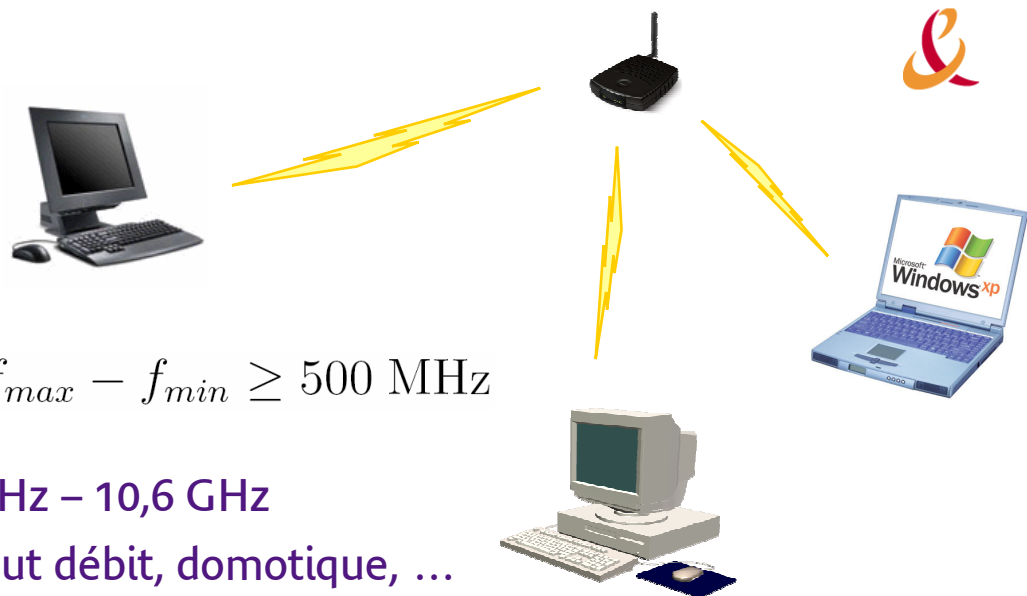
### ▶ Travail de normalisation en cours

- ▶ IEEE 802.15.3a, ECMA : ULB haut débit à courte portée
- ▶ IEEE 802.15.4a : applications à longue portée et localisation

### ▶ Nécessité de modéliser le canal de propagation radio

- ▶ Permet la simulation et l'optimisation des systèmes ULB
- ▶ Modèles existants : IEEE 802.15.3a et IEEE 802.15.4a
- ▶ Limites : peu d'études sur la bande 3,1 GHz – 10,6 GHz

Proposition d'un modèle de canal de propagation ULB,  
basé sur plusieurs séries de mesures expérimentales

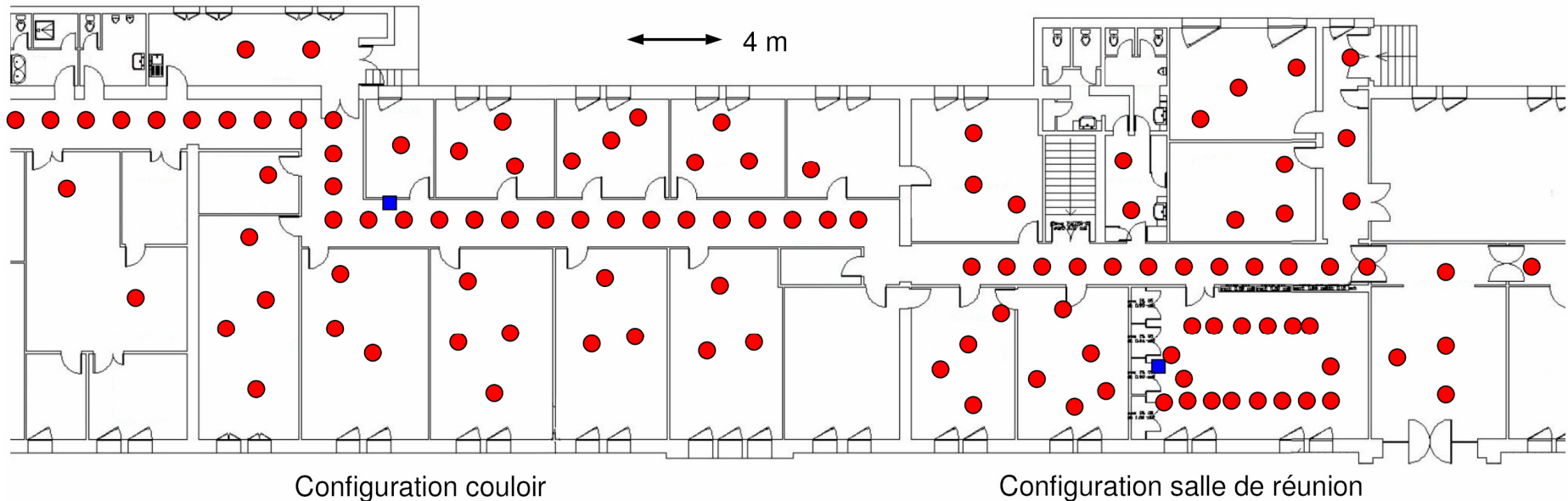




- ▶ **Introduction: la technologie Ultra Large Bande**
- ▶ **Campagne de sondage du canal ULB**
- ▶ **Caractérisation expérimentale**
- ▶ **Modèle statistique du canal ULB**
- ▶ **Conclusion**

# Campagne de sondage du canal ULB

## Mise en œuvre expérimentale



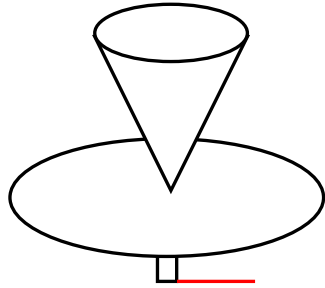
### Campagne de mesure sur la bande 3,1 GHz – 10,6 GHz

- 120 positions en configurations LOS et NLOS
- 90 réponses impulsionnelles mesurées sur bras tournant à chaque position
- Plus de 10 000 réponses impulsionnelles disponibles pour l'analyse statistique

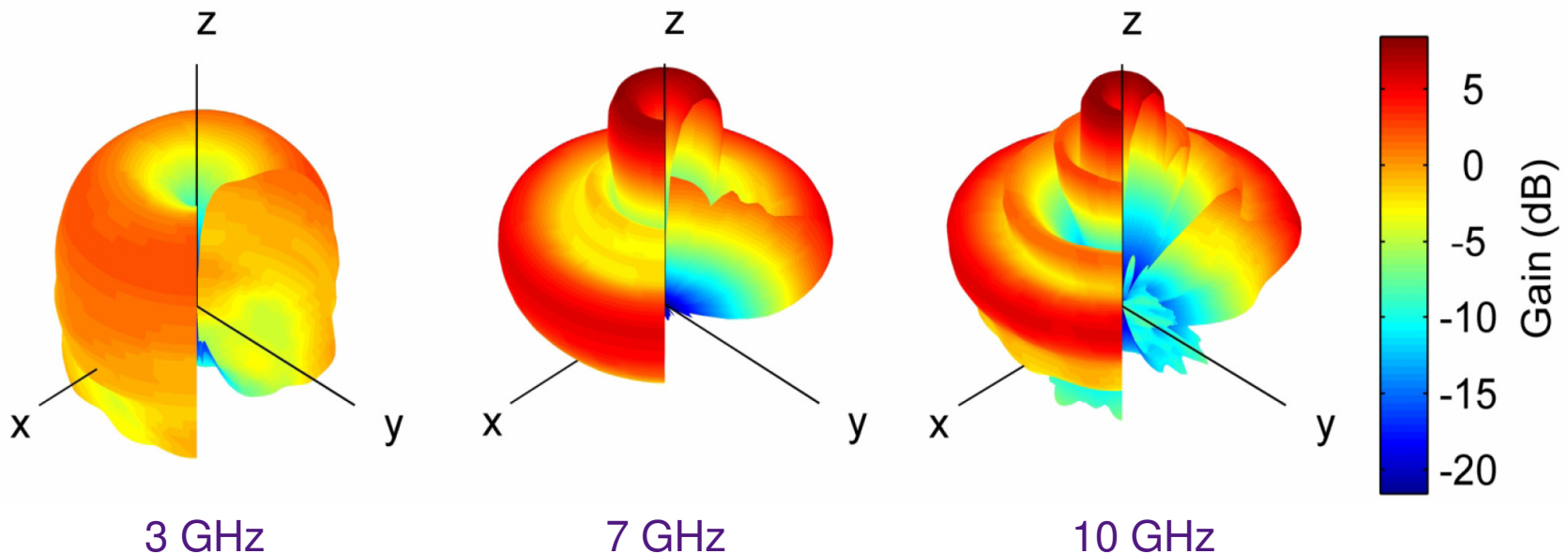
# Campagne de sondage du canal ULB



## Antennes de mesure



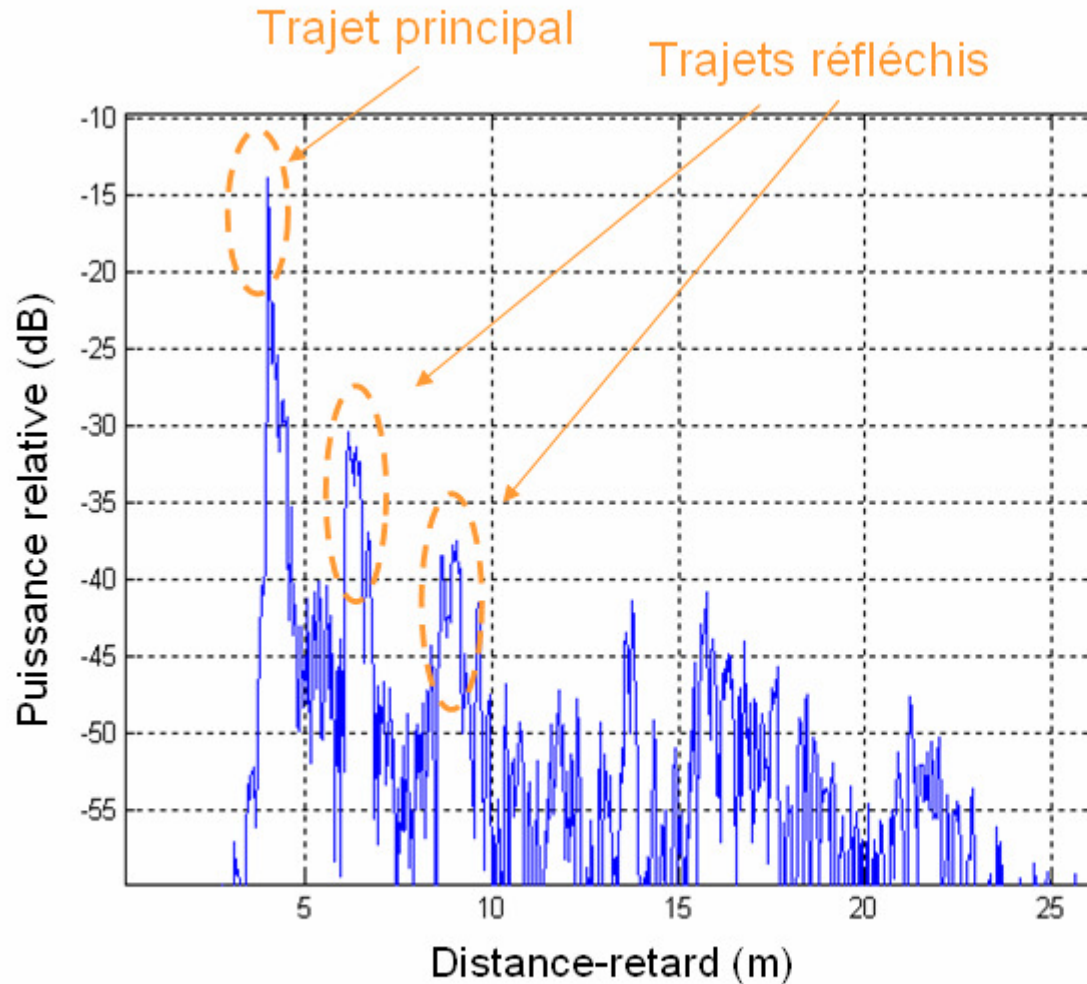
Antenne mono-conique



➤ Evolution du diagramme de rayonnement avec la fréquence

# Campagne de sondage du canal ULB

## Exemple de mesure ULB



➤ Mesure sur bras tournant

➤ Réponse impulsionnelle

- ▶ Introduction: la technologie Ultra Large Bande
- ▶ Campagne de sondage du canal ULB
- ▶ **Caractérisation expérimentale**
- ▶ Modèle statistique du canal ULB
- ▶ Conclusion

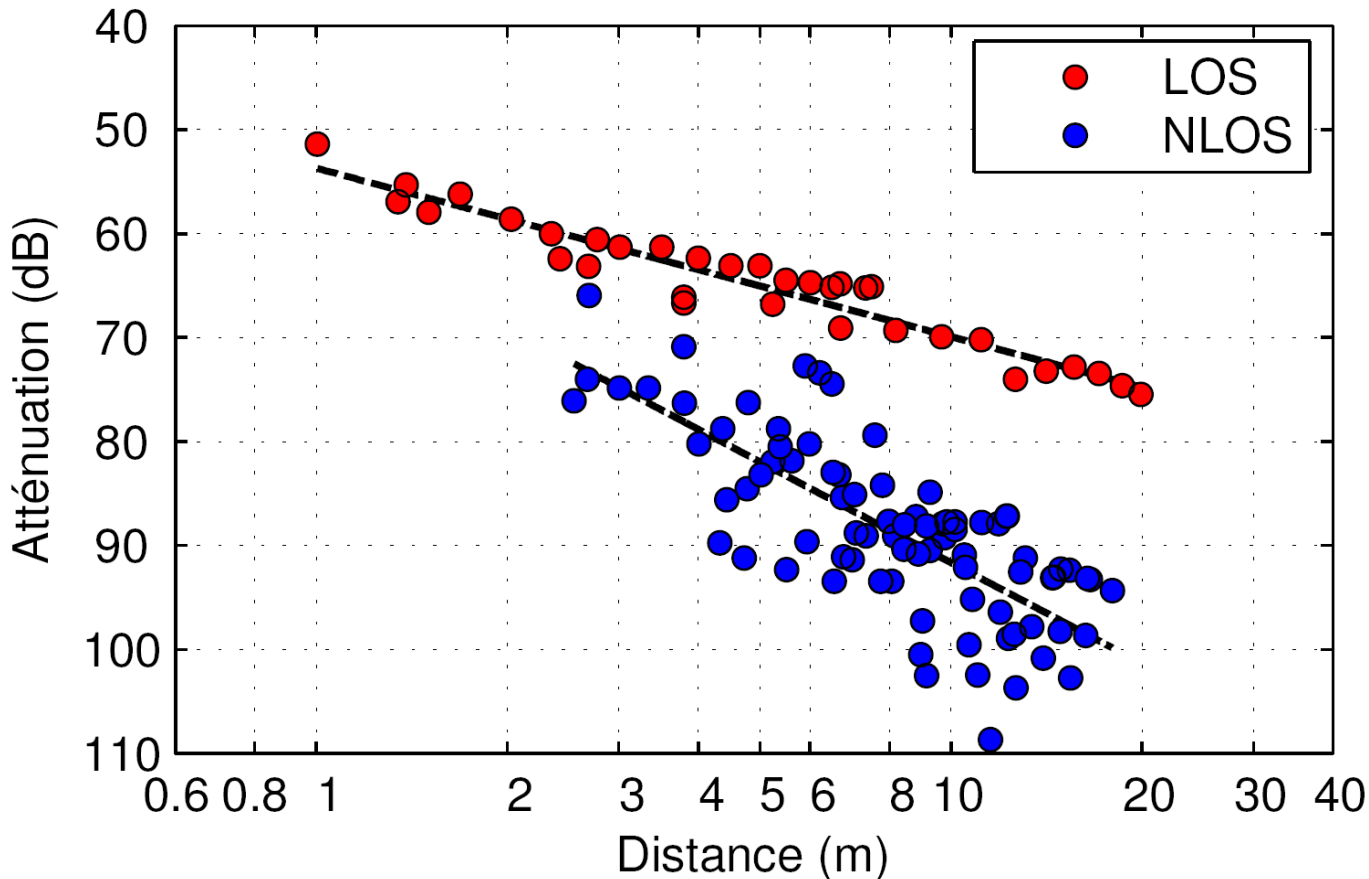


# Caractérisation expérimentale

## Pertes par propagation en distance

### ► Estimation des coefficients de pertes par propagation

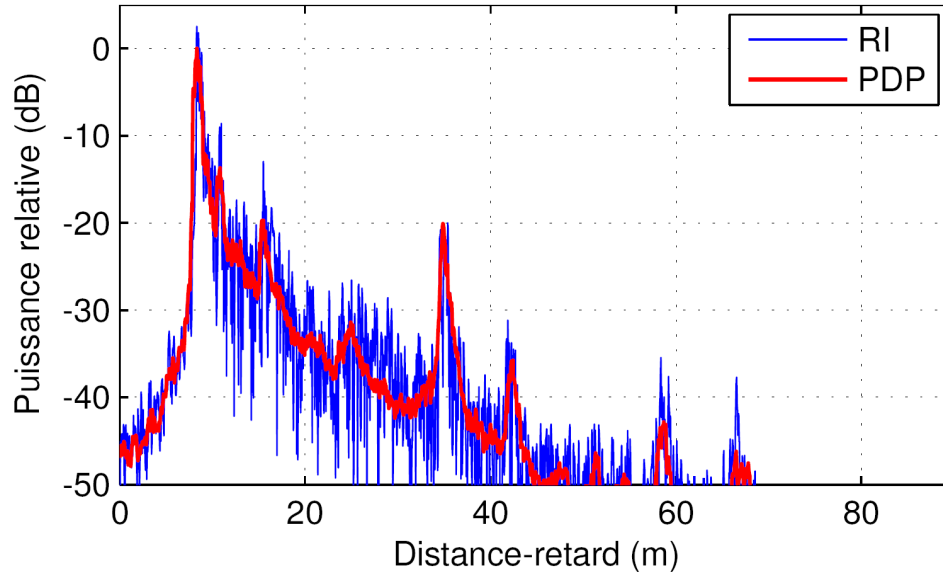
$$PL(f, d) = PL(f_0, d_0) + 20 \log \left( \frac{f}{f_0} \right) + 10N_d \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + S(f, d)$$



- LOS :  $N_d = 1,62$
- NLOS :  $N_d = 3,22$

# Caractérisation expérimentale

## Profils puissance-retard et dispersion des retards

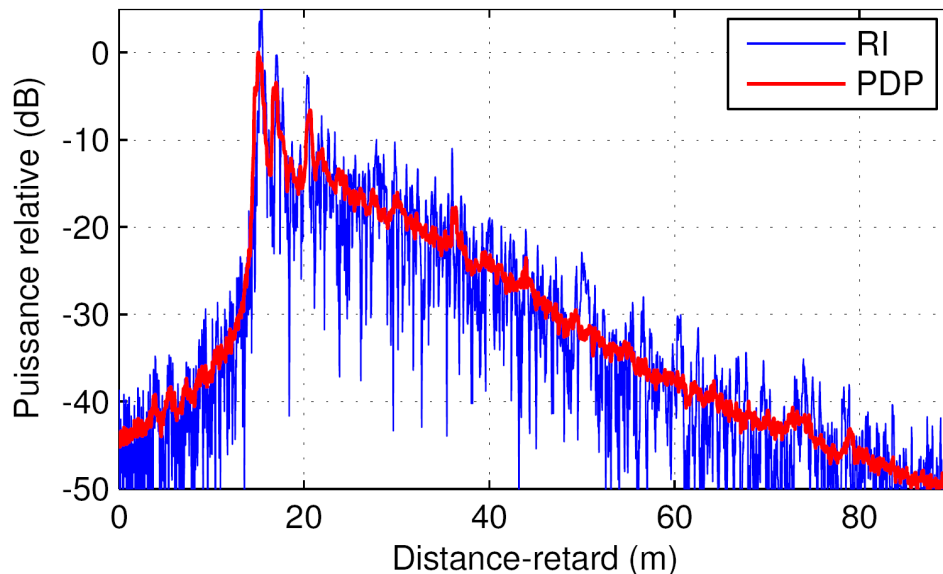


### ► Configuration LOS

- Groupement des trajets de propagation en *clusters*
- Dispersion des retards :

$$\tau_{\text{RMS}} = 4,1 \text{ ns}$$

$$\sigma_{\tau} = 2,7 \text{ ns}$$



### ► Configuration NLOS

- Aspect du PDP plus lissé
- Dispersion des retards :

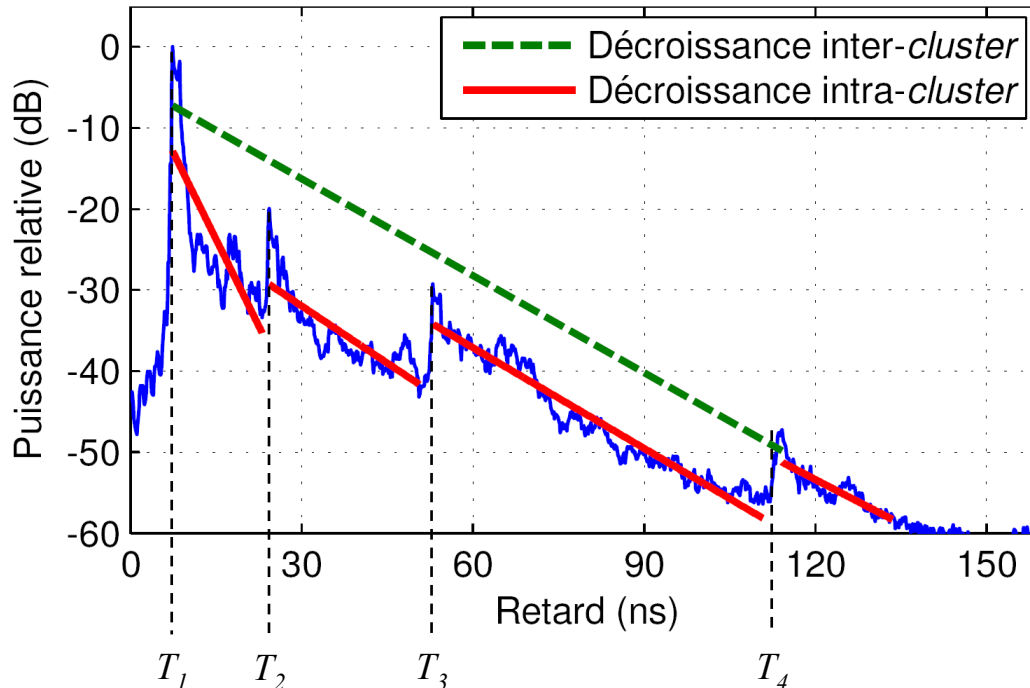
$$\tau_{\text{RMS}} = 9,9 \text{ ns}$$

$$\sigma_{\tau} = 5,0 \text{ ns}$$

# Caractérisation expérimentale

## Coefficients de décroissance exponentielle

### ► Paramètres du modèle de Saleh et Valenzuela



► Coefficient de décroissance inter-clusters :

LOS :  $\Gamma = 15,7$  ns

NLOS :  $\Gamma = 16,5$  ns

► Coefficient de décroissance intra-clusters :

LOS :  $\gamma = 7,5$  ns

NLOS :  $\gamma = 7,0$  ns

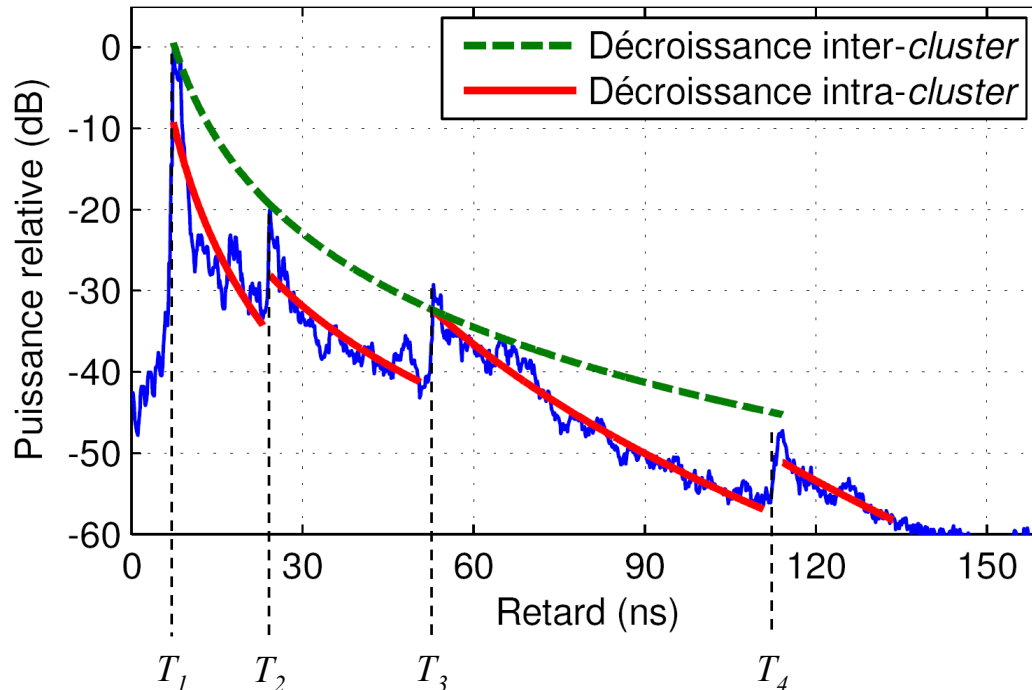
► Forme générale du PDP :

$$|\overline{h(\tau)}|^2 \propto \sum_{l=1}^L \exp\left(-\frac{T_l - T_1}{\Gamma}\right) \exp\left(-\frac{\tau - T_l}{\gamma}\right) u(\tau - T_l)$$

# Caractérisation expérimentale

## Coefficients de décroissance en puissance

### ► Modification du modèle de Saleh et Valenzuela



► Coefficient de décroissance inter-clusters :

LOS :  $\Omega = 4,4$

NLOS :  $\Omega = 3,9$

► Coefficient de décroissance intra-clusters :

LOS :  $\omega = 14,3$

NLOS :  $\omega = 10,2$

► Forme générale du PDP :

$$\overline{|h(\tau)|^2} \propto \sum_{l=1}^L \left(\frac{T_l}{T_1}\right)^{-\Omega} \left(\frac{\tau}{T_l}\right)^{-\omega} u(\tau - T_l)$$

► Interprétation physique de l'atténuation

► Meilleure adéquation aux mesures



- ▶ Introduction: la technologie Ultra Large Bande
- ▶ Campagne de sondage du canal ULB
- ▶ Caractérisation expérimentale
- ▶ **Modèle statistique du canal ULB**
- ▶ Conclusion



# Modèle statistique du canal ULB

## Principes de modélisation

### ► But du modèle

- Reproduire de manière réaliste les caractéristiques du canal ULB observées lors de la mesure
- Générer rapidement des réponses impulsionnelles aléatoires représentatives de l'environnement considéré (modèle statistique)
- Permettre la simulation, le développement et l'optimisation de systèmes de communication ULB

### ► Etapes de modélisation

- Pertes par propagation en distance et en fréquence
- Structure de la réponse impulsionnelle

$$PL(f, d) = PL(f_0, d_0) + 20 \log \left( \frac{f}{f_0} \right) + 10N_d \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + S(f, d)$$

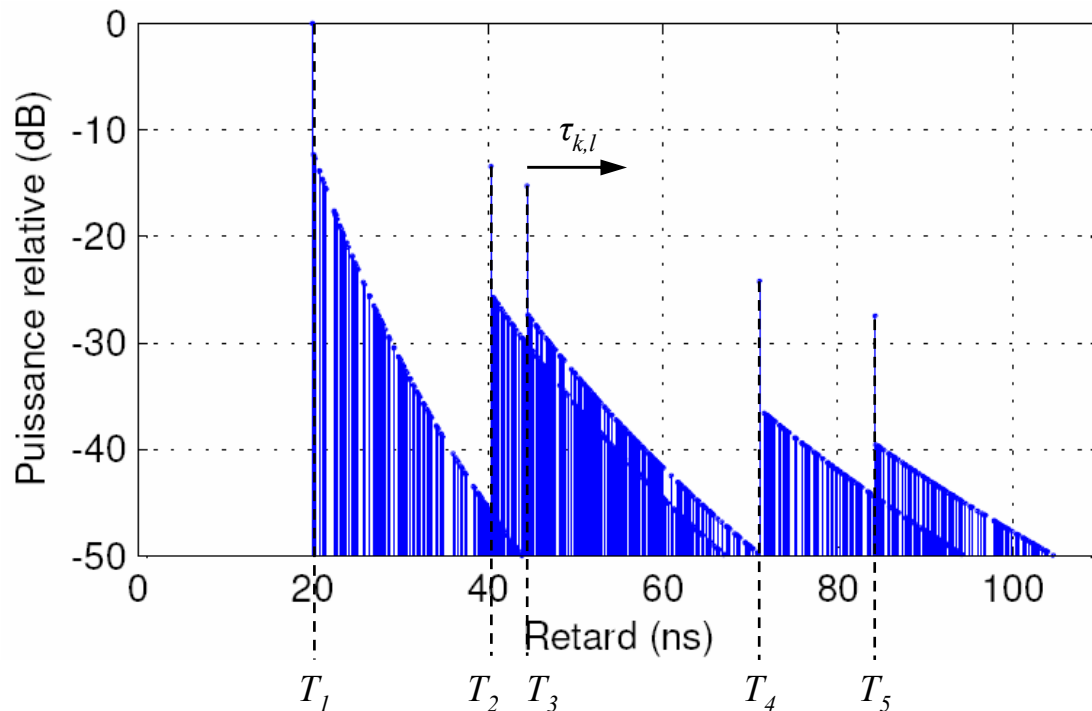
Modèle de pertes par propagation

# Modèle statistique du canal ULB

## Réponse impulsionnelle sur une bande infinie

### ► Modèle amélioré de Saleh et Valenzuela

$$h(\tau) = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{K_l} \beta_{k,l} e^{j\theta_{k,l}} \delta(\tau - T_l - \tau_{k,l})$$



### ► Paramètres

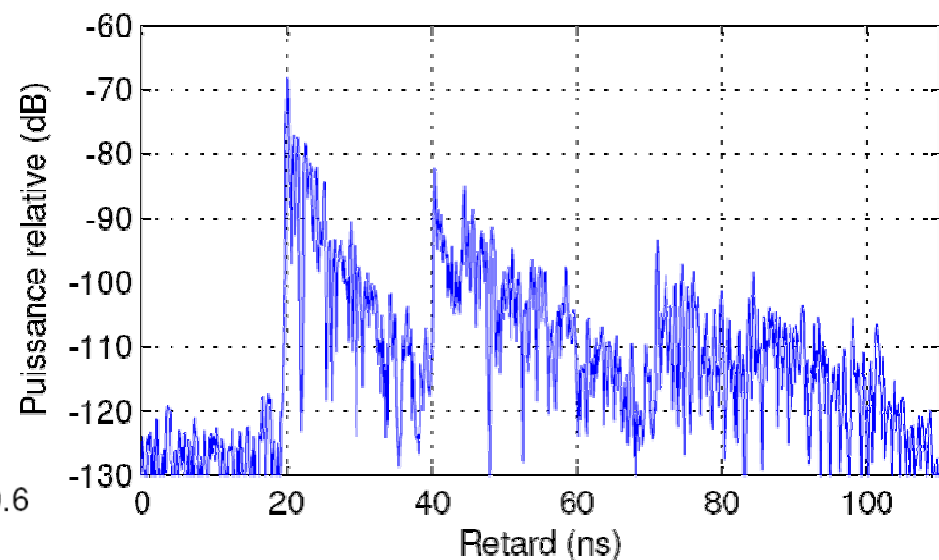
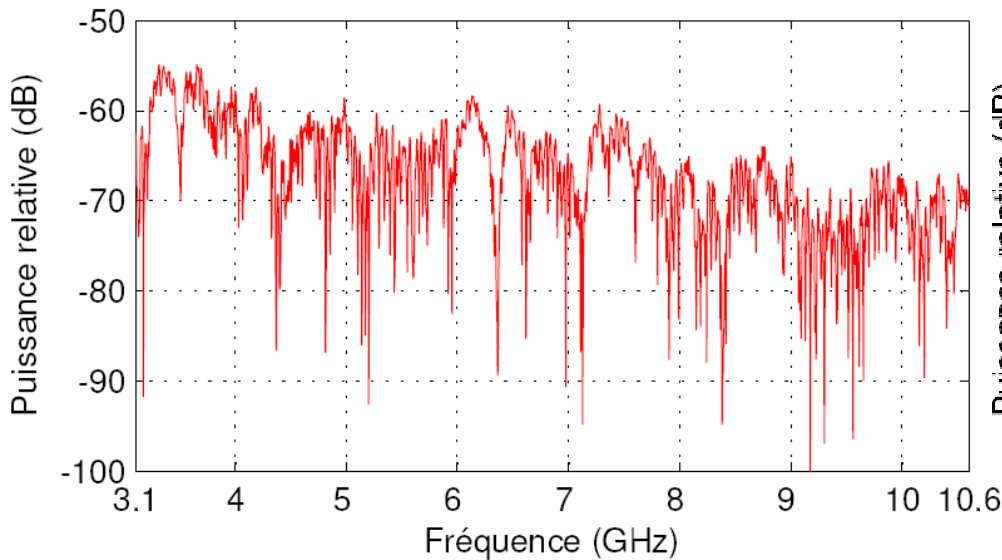
- Nombre moyen de clusters  $\bar{L}$
- Taux d'arrivée des *clusters*  $\Lambda$
- Taux d'arrivée des rayons  $\lambda$
- Coefficient de décroissance inter-*clusters*  $\Omega$
- Coefficient de décroissance intra-*clusters*  $\omega$
- Rapport de puissance du trajet principal  $G$
- Phase distribuée uniformément sur  $[0, 2\pi[$

# Modèle statistique du canal ULB

## Calcul de la réponse impulsionnelle sur une bande limitée

### ► Modèle équivalent dans le domaine des fréquences

$$T_{\text{lim}}(f) = \frac{f_c}{f} \frac{1}{\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{K_l} \beta_{k,l}^2} \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{K_l} \beta_{k,l} e^{j(\theta_{k,l} - 2\pi f(T_l + \tau_{k,l}))} \quad \text{si } f_{\min} \leq f \leq f_{\max}$$



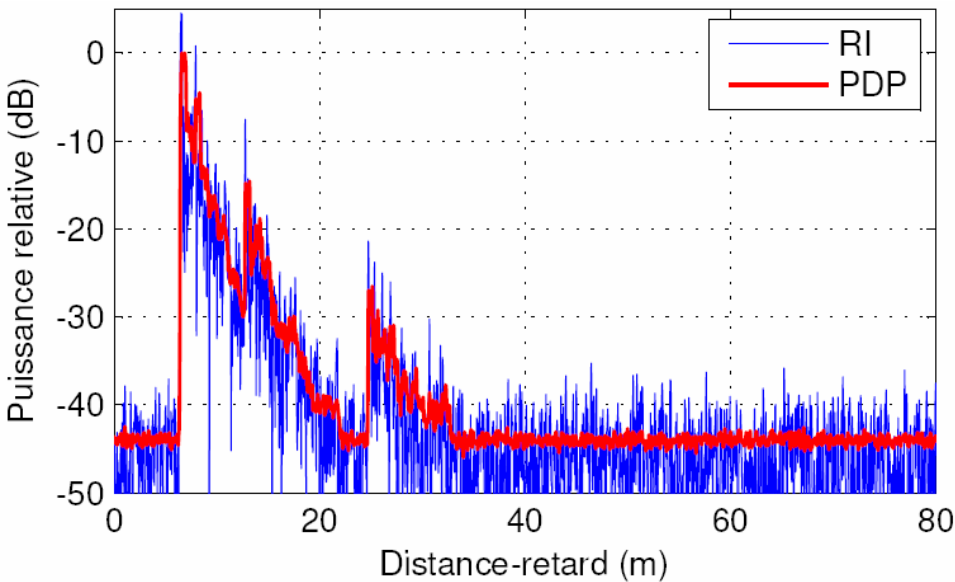
- Prise en compte de l'atténuation en fréquence
- Passage à la réponse impulsionnelle sur bande limitée par transformée de Fourier inverse

- L'interférence des trajets proches crée des évanouissements rapides

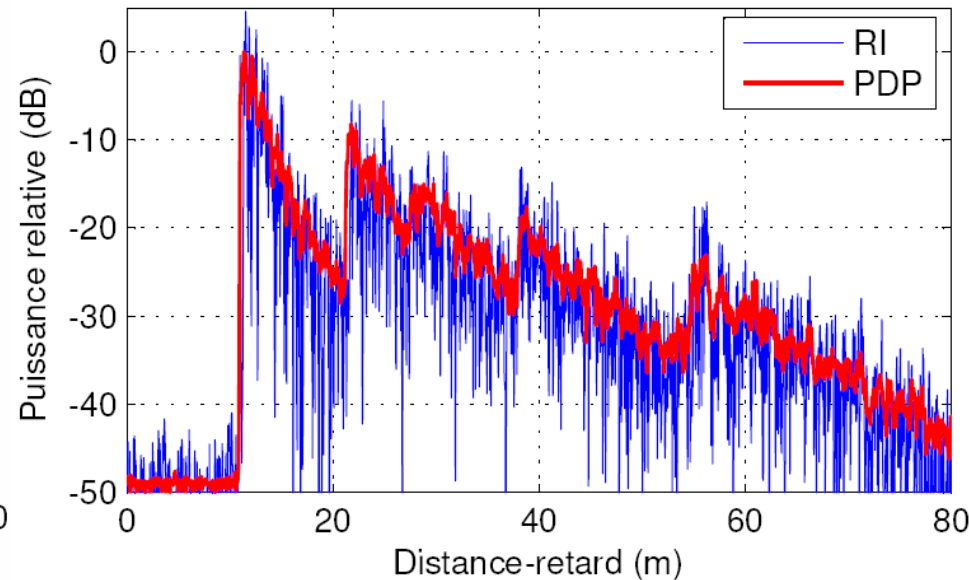


# Modèle statistique du canal ULB

## Résultats de simulation



➤ Simulation LOS



➤ Simulation NLOS

### ▶ Simulation réalisée dans les conditions expérimentales

- Distances émetteur-récepteur conformes à la campagne de mesure
- Génération de 90 réponses impulsionnelles simulées autour d'un bras tournant (modèle de variations spatiales)
- Calcul des paramètres de dispersion sur le PDP reconstitué

# Modèle statistique du canal ULB

## Résultats de simulation



### ▶ Comparaison des paramètres de dispersion

- ▶ Dispersion des retards  $\tau_{\text{RMS}}$
- ▶ Fenêtre des retards  $W_{75\%}$

Paramètre	LOS		NLOS	
	Mesure	Simulation	Mesure	Simulation
$\tau_{\text{RMS}}$ (ns)	4,1	4,0	9,9	9,7
$W_{75\%}$ (ns)	7,6	9,7	23,7	21,2

- ▶ Bonne adéquation entre la mesure et la simulation
- ▶ Le modèle proposé reproduit la structure de la réponse impulsionnelle et la dispersion introduite par le canal

- ▶ **Introduction: la technologie Ultra Large Bande**
- ▶ **Campagne de sondage du canal ULB**
- ▶ **Caractérisation expérimentale**
- ▶ **Modèle statistique du canal ULB**
- ▶ **Conclusion**

# Conclusion



- ▶ **Caractérisation complète du canal ULB**
  - ▶ Campagne en environnement intérieur regroupant plus de 10 000 RI
  - ▶ Etude des pertes par propagation et de la structure du PDP
  - ▶ Proposition d'une adaptation au modèle de Saleh et Valenzuela
  
- ▶ **Proposition d'un modèle complet de canal de propagation ULB**
  - ▶ Modèle d'affaiblissement : études de dimensionnement et estimation des effets de brouillage
  - ▶ Modèle de réponse impulsionnelle : performances des futurs systèmes ULB par la simulation
  - ▶ Universalité du modèle dans la bande de fréquences 3,1 GHz – 10,6 GHz
  
- ▶ **Perspectives de recherche**
  - ▶ Confrontation avec des modèles déterministes
  - ▶ Analyse des directions de départ et d'arrivée, en lien avec l'étude des antennes
  - ▶ Application de la démarche expérimentale dans un contexte multi-antennes