

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

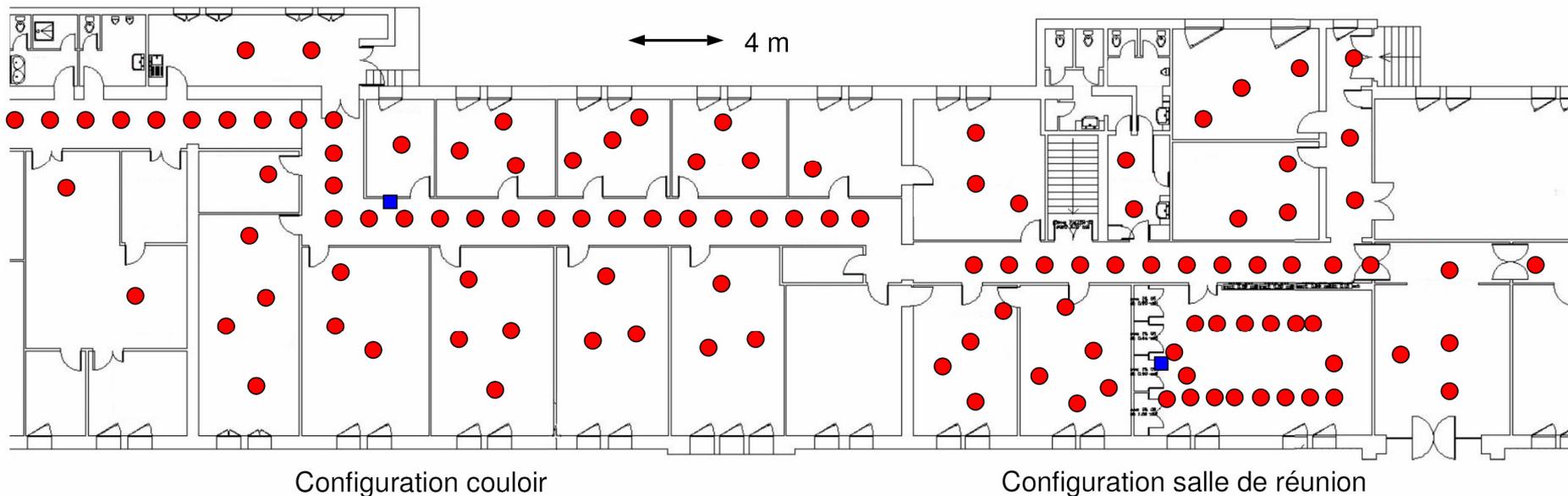
Proposition d'un modèle de canal de propagation ULB,
basé sur plusieurs séries de mesures expérimentales



- ▶ 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



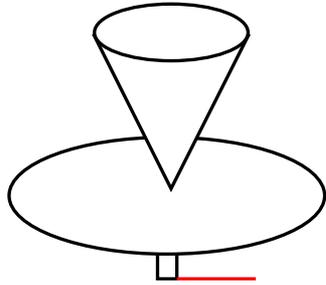
Campagne de mesure sur la bande 3,1 GHz – 10,6 GHz

- 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

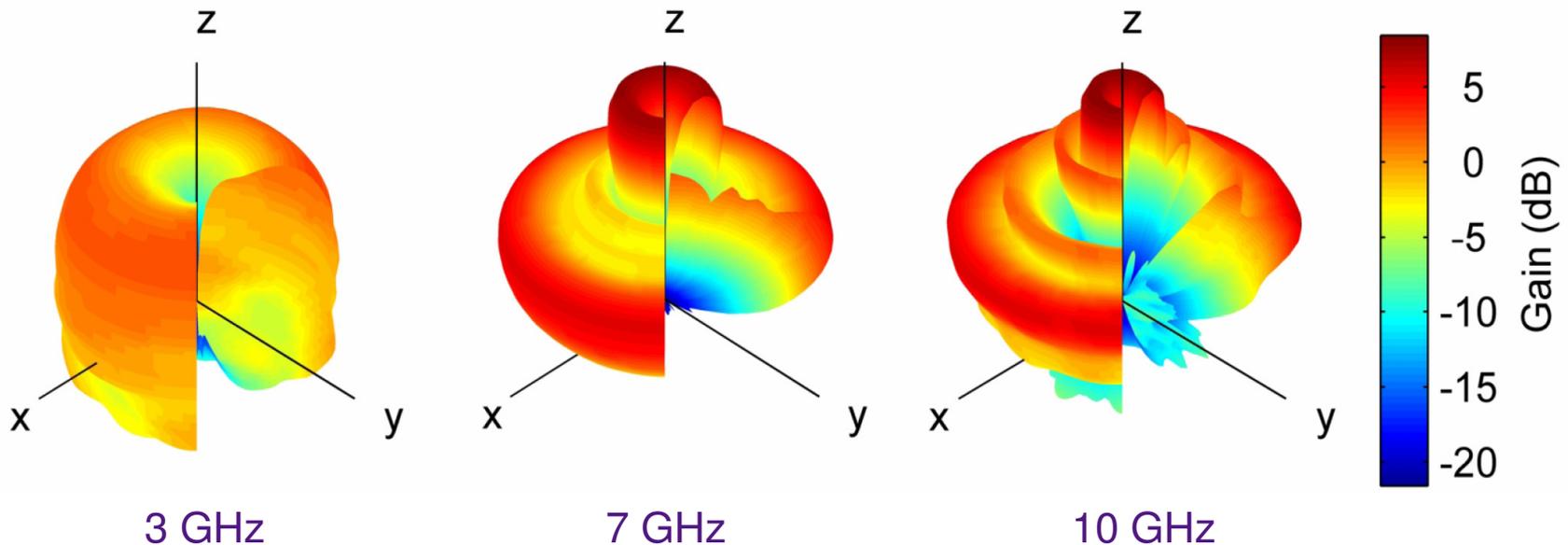
Campagne de sondage du canal ULB



Antennes de mesure



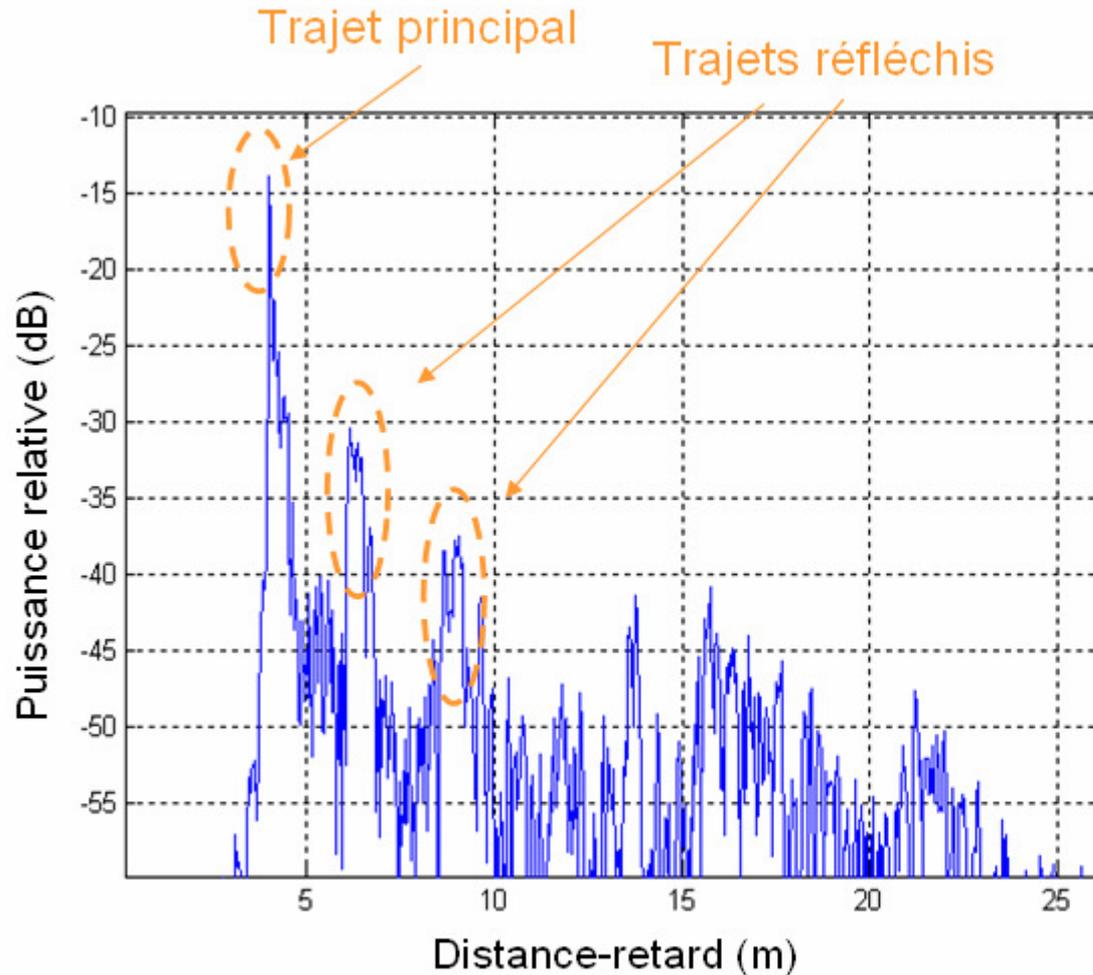
Antenne mono-conique



➤ Evolution du diagramme de rayonnement avec la fréquence

Campagne de sondage du canal ULB

Exemple de mesure ULB



➤ Mesure sur bras tournant

➤ Réponse impulsionnelle

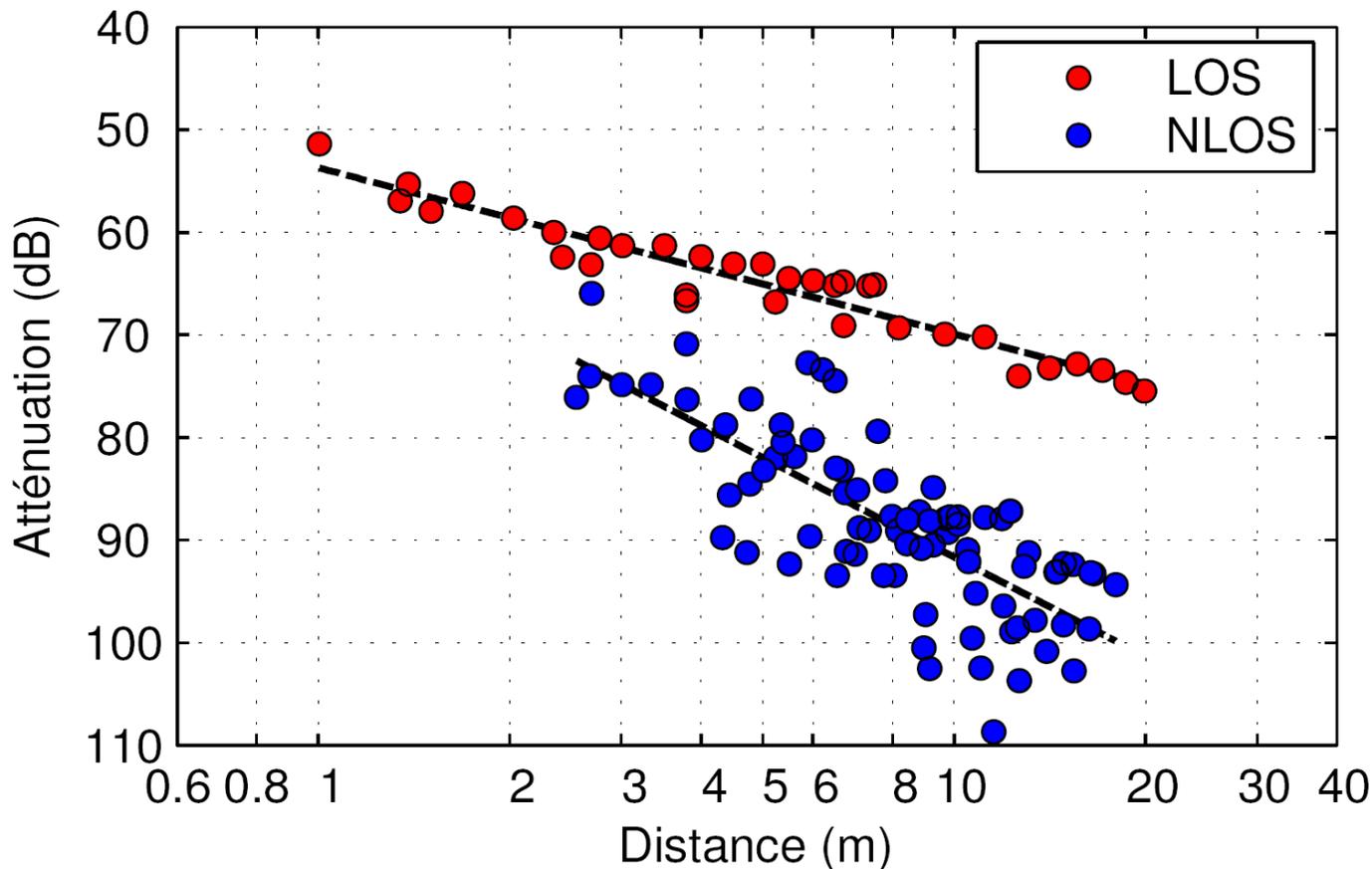
- ▶ Introduction: la technologie Ultra Large Bande
- ▶ Campagne de sondage du canal ULB
- ▶ **Caractérisation expérimentale**
- ▶ Modèle statistique du canal ULB
- ▶ Conclusion

Caractérisation expérimentale

Pertes par propagation en distance

► Estimation des coefficients de pertes par propagation

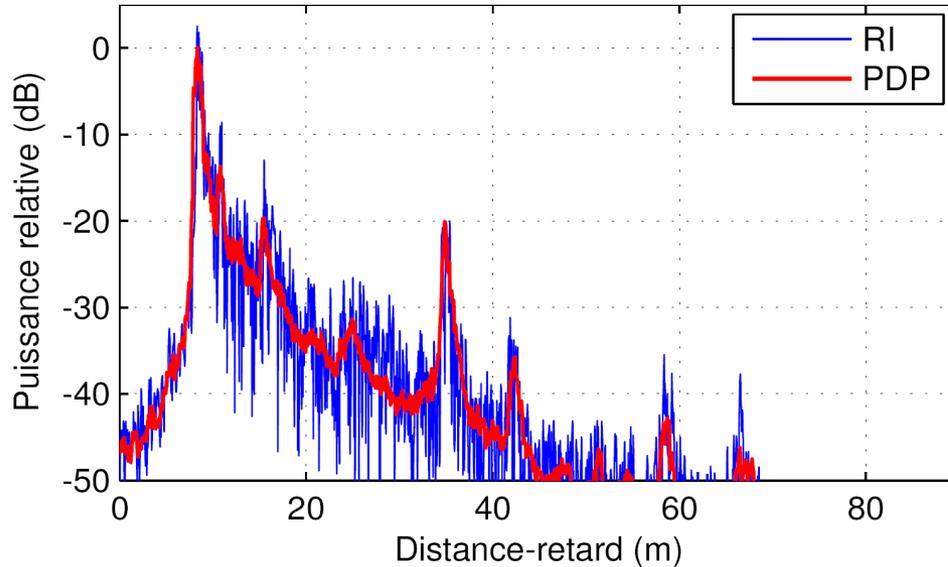
$$PL(f, d) = PL(f_0, d_0) + 20 \log \left(\frac{f}{f_0} \right) + 10N_d \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + S(f, d)$$



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

Caractérisation expérimentale

Profils puissance-retard et dispersion des retards

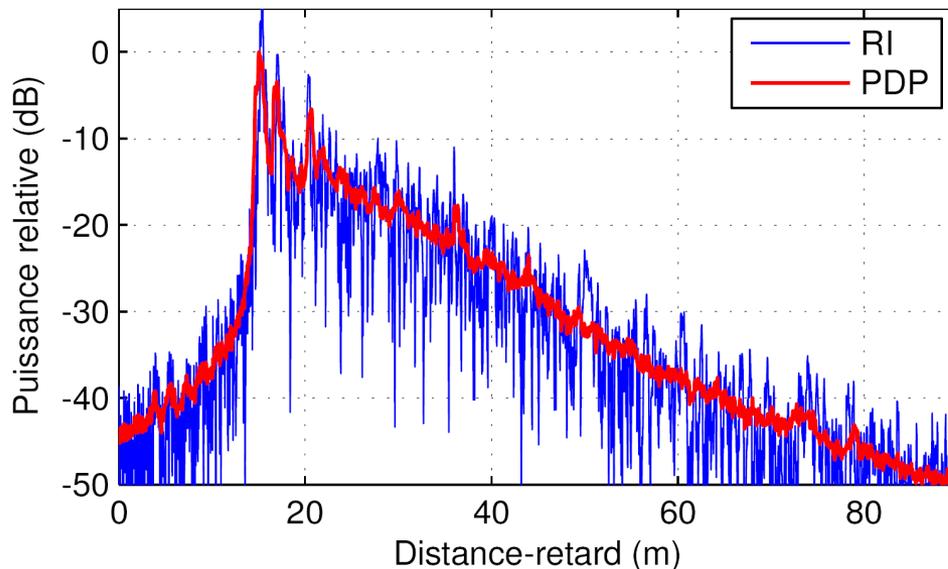


► Configuration LOS

- 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 :

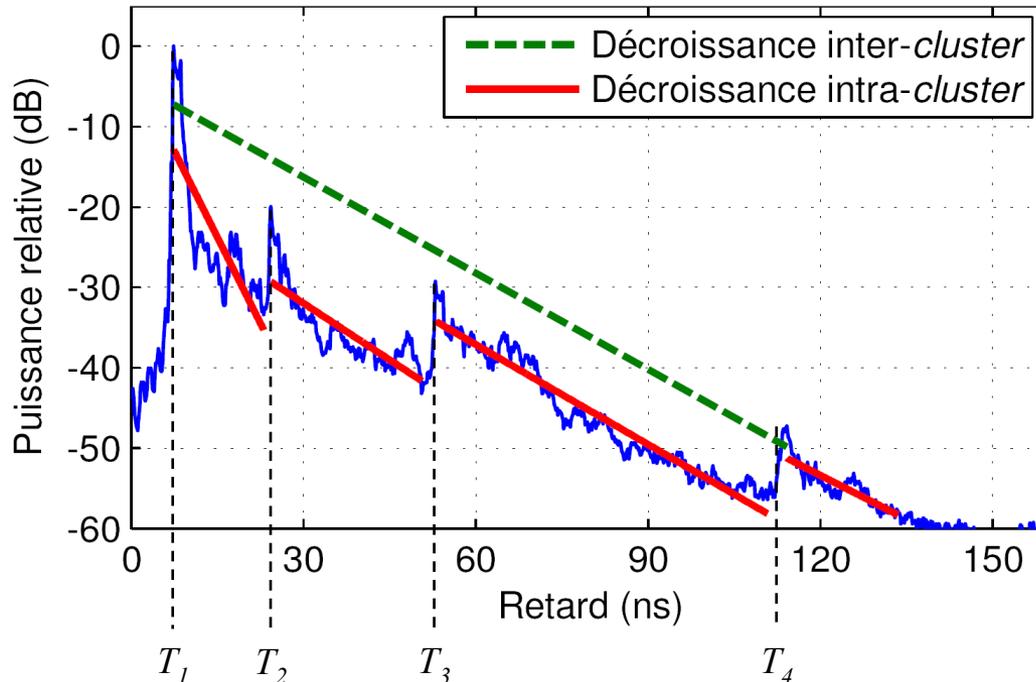
$$\tau_{\text{RMS}} = 9,9 \text{ ns}$$

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

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

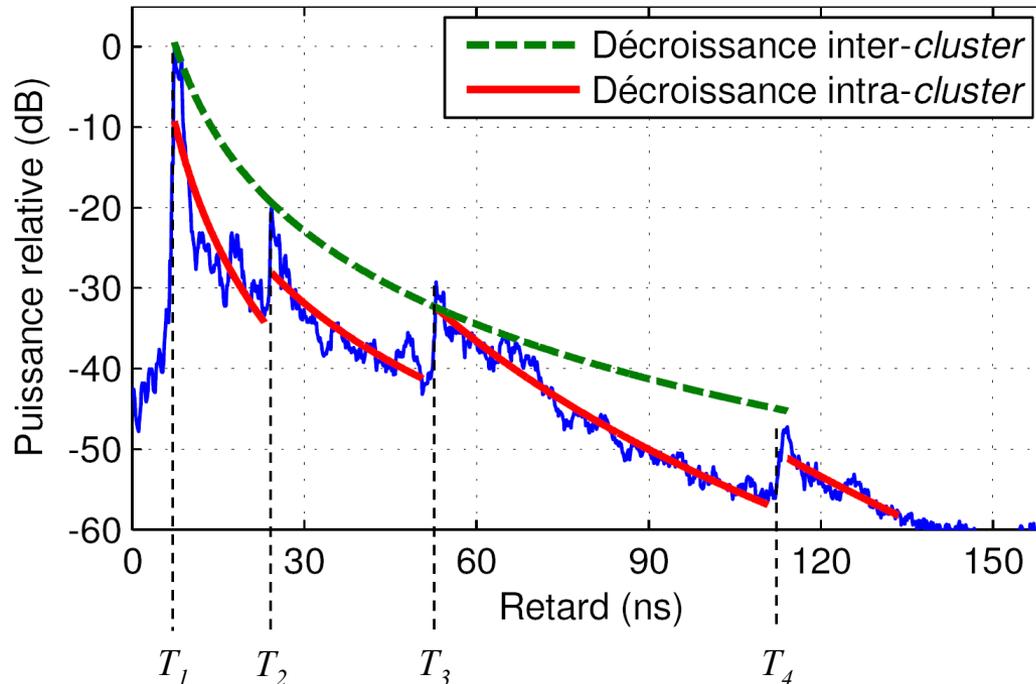
► Forme générale du PDP :

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

Caractérisation expérimentale

Coefficients de décroissance en puissance

► Modification du modèle de Saleh et Valenzuela



► Forme générale du PDP :

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

► Coefficient de décroissance inter-clusters :

LOS : $\Omega = 4,4$

NLOS : $\Omega = 3,9$

► Coefficient de décroissance intra-clusters :

LOS : $\omega = 14,3$

NLOS : $\omega = 10,2$

► 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

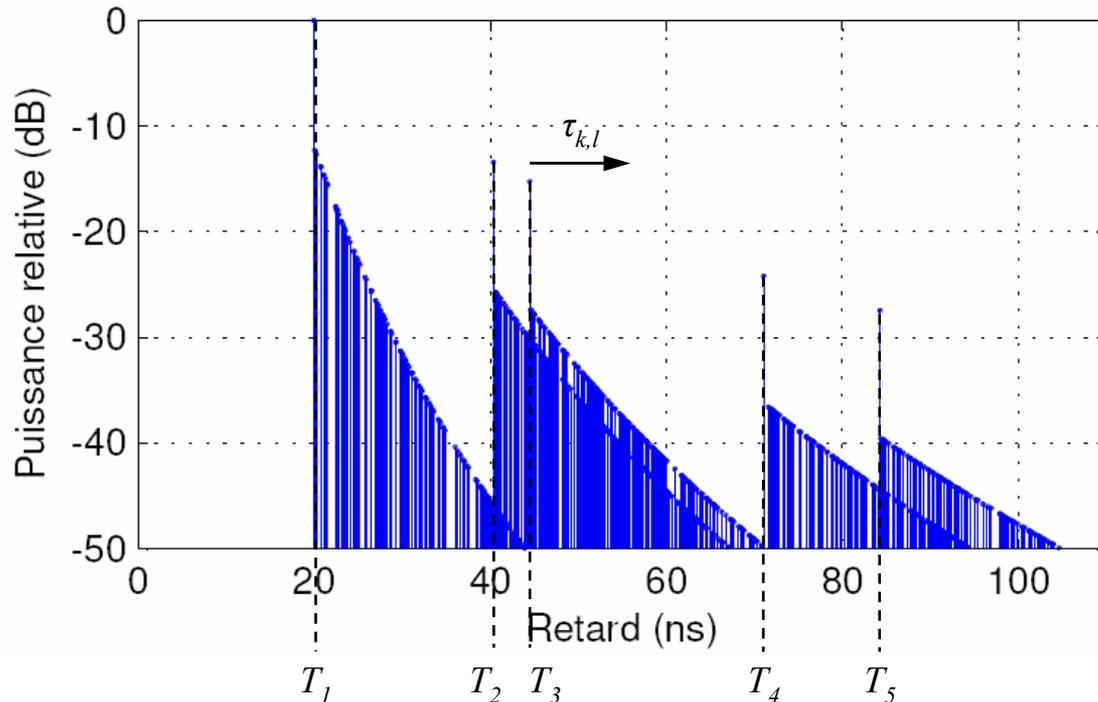
$$PL(f, d) = PL(f_0, d_0) + 20 \log \left(\frac{f}{f_0} \right) + 10N_d \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + S(f, d)$$

Modèle 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* Λ
- Taux d'arrivée des rayons λ
- Coefficient de décroissance inter-*clusters* Ω
- Coefficient de décroissance intra-*clusters* ω
- Rapport de puissance du trajet principal G
- Phase distribuée uniformément sur $[0, 2\pi[$

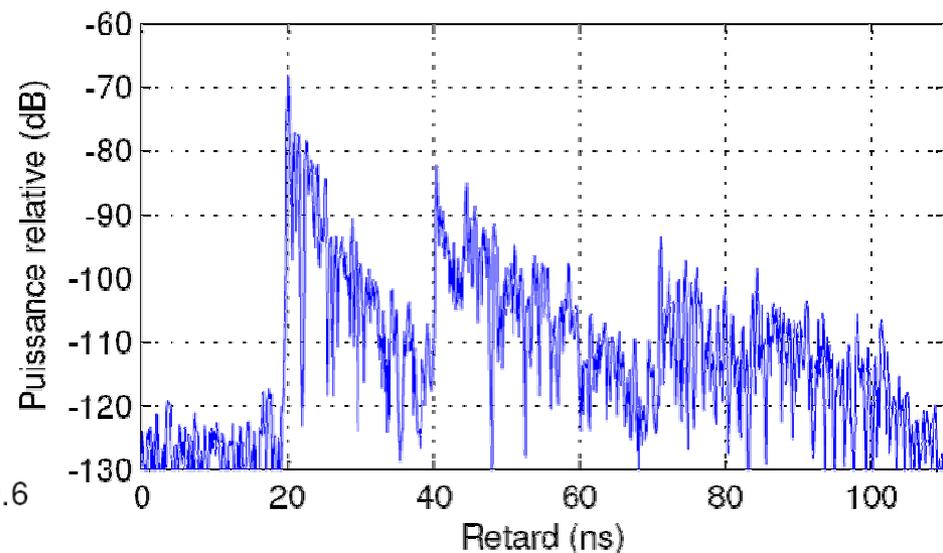
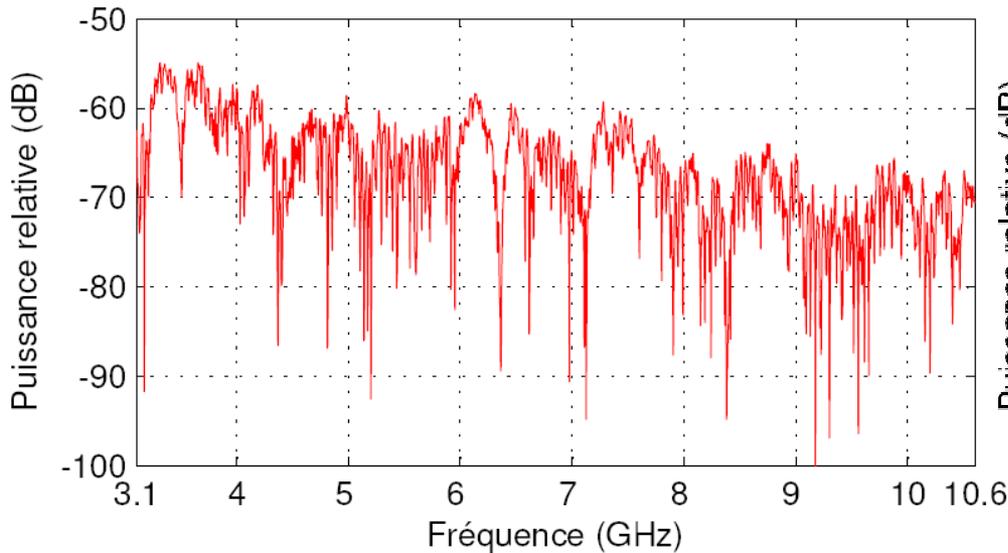


Modèle statistique du canal ULB

Calcul de la réponse impulsionnelle sur une bande limitée

► Modèle équivalent dans le domaine des fréquences

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

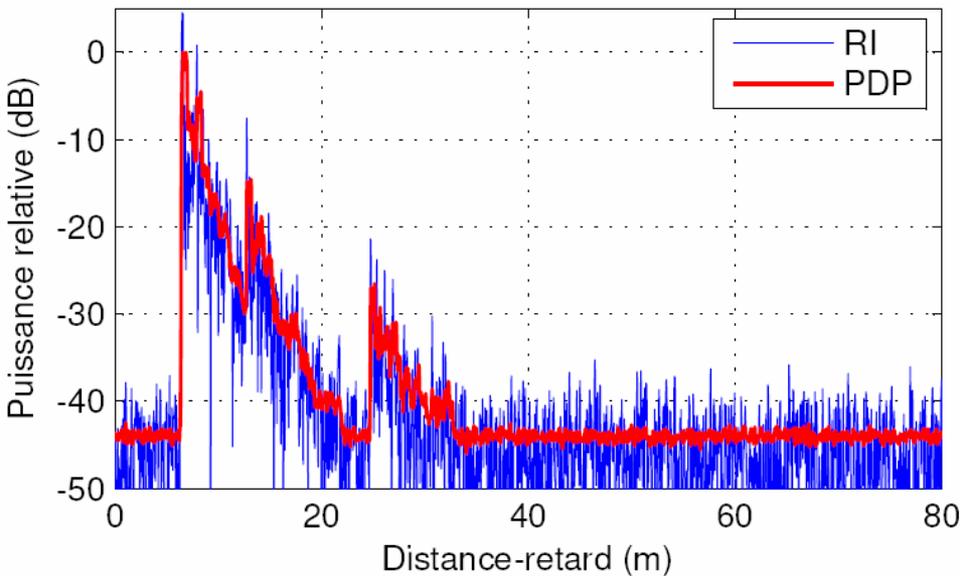


- Prise en compte de l'atténuation en fréquence
- Passage à la réponse impulsionnelle sur bande limitée par transformée de Fourier inverse

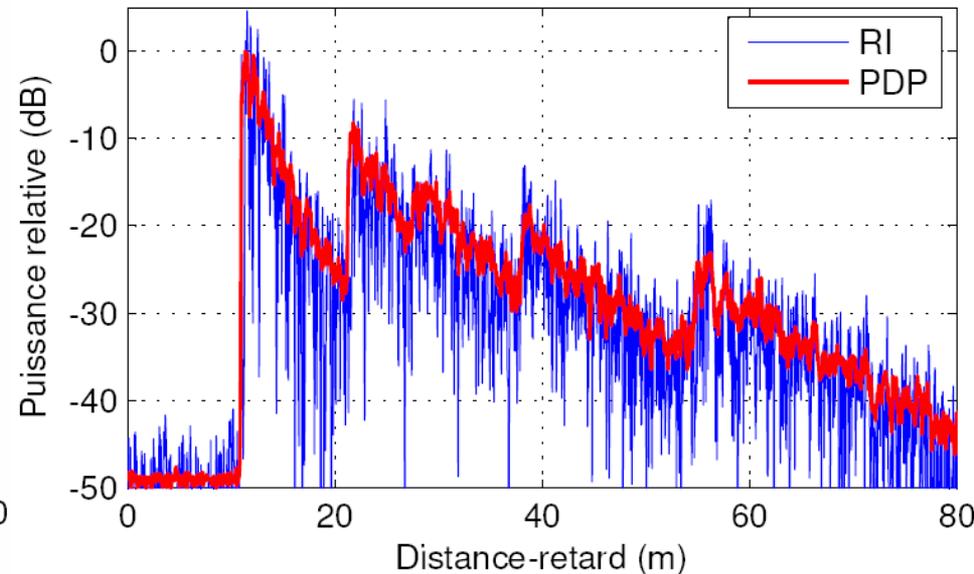
- L'interférence des trajets proches crée des évanouissements rapides

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 τ_{RMS}
- ▶ Fenêtre des retards $W_{75\%}$

Paramètre	LOS		NLOS	
	Mesure	Simulation	Mesure	Simulation
τ_{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