

Comparaison de l'étalement des retards dans un véhicule et dans une cavité pour les communications sans fil du futur dans le domaine automobile

Ahmed Bel hadj Mabrouk^{1,2}, Marco Klingler¹, Christelle Leseigneur¹, Habib Boulzazen², Marc Heddebaut³

(1) PSA Peugeot Citroën

(2) IRSEEM-ESIGELEC

(3) IFSTTAR

AFCem

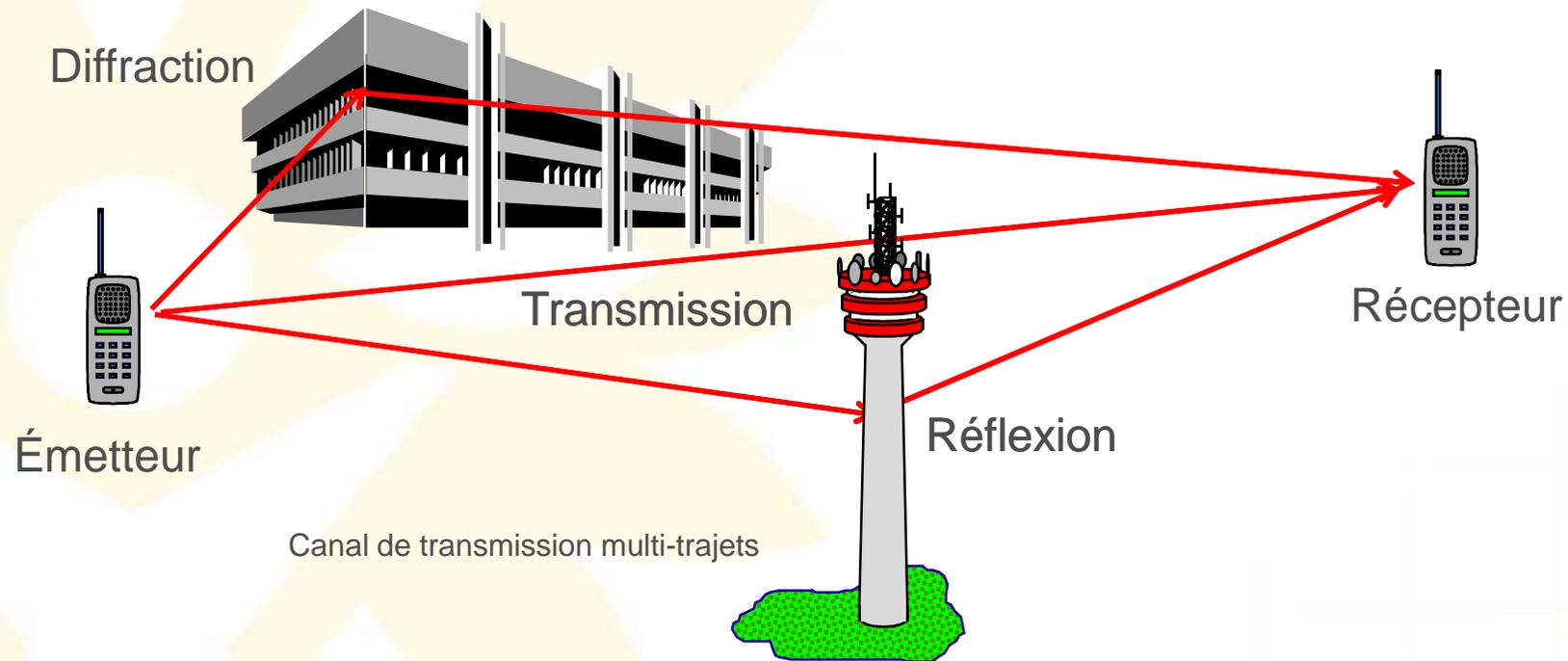
ahmed.belhadjmabrouk@mpsac.com

Plan

- **Contexte**
- **Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission en véhicule**
 - 1) Cas du Power Delay Profile
 - 2) Cas du RMS Delay Spread
- **Effet de l'emplacement d'antennes sur l'étalement des retards**
- **Reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique de même dimension que le véhicule**
- **Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission en cavité de volume réduit**
 - 1) Cas du Power Delay Profile
 - 2) Cas du RMS Delay Spread
- **Conclusions et perspectives**

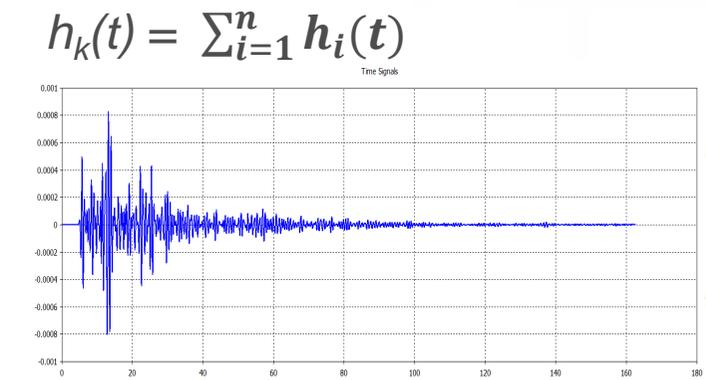
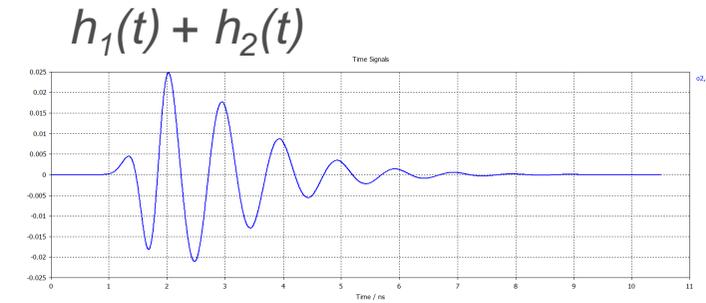
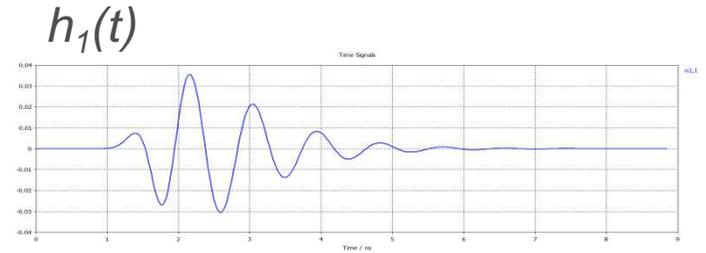
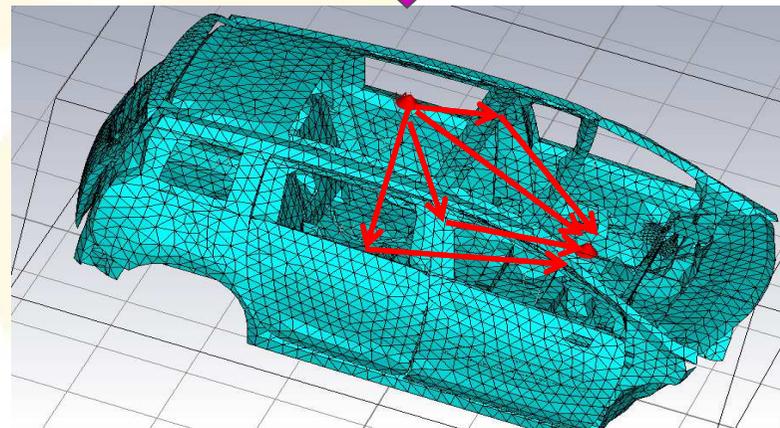
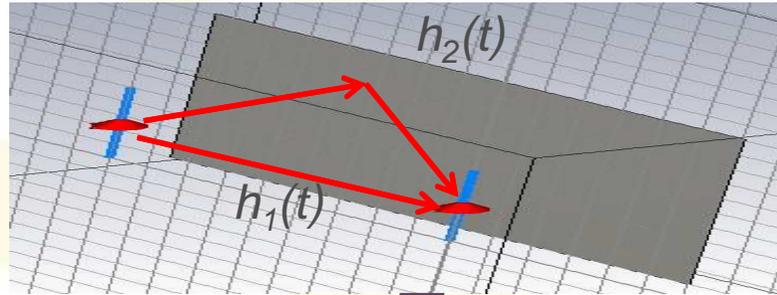
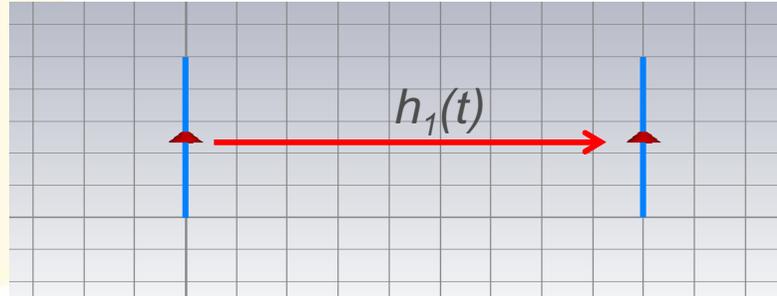
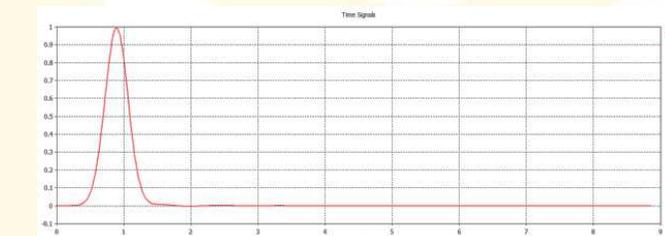
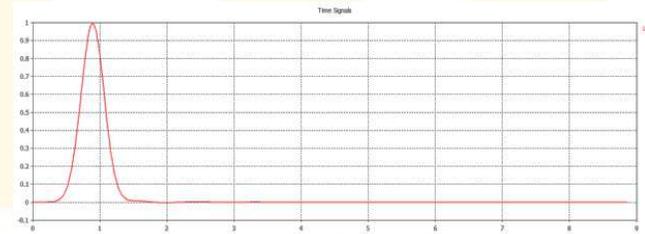
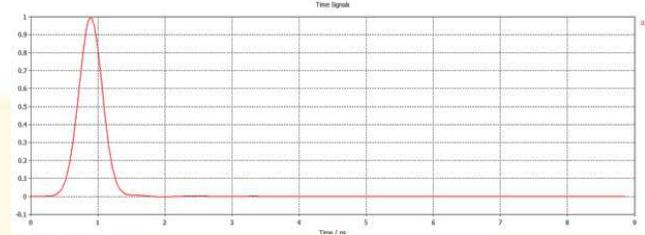
Contexte

- Un canal de communication multi-trajets fluctue dans le temps du fait des modifications de l'environnement de propagation (déplacement des objets et des émetteurs / récepteurs)



Contexte

Le signal d'excitation



➤ Ce canal se caractérise principalement par le Power Delay Profile (PDP) et le RMS Delay Spread.

Contexte

- Le Power Delay Profile (PDP)

Pour une configuration donnée, le canal de transmission est caractérisé notamment par sa réponse impulsionnelle $h_k(t)$ tel que * :

$$h_k(t) = \sum_{i=1}^n h_i(t)$$

Si nous moyennons l'amplitude de la réponse impulsionnelle sur k configurations (par exemple positions des objets ou des émetteurs / récepteurs), nous obtenons le PDP :

$$\text{PDP}(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |h_k(t)|^2$$

* E. Genende, C. L. Holloway, K. A. Remley, J. M. Ladbury, G. Koepke, H. Garbe : Simulating the multipath Channel with a reverberation chamber : application to bit error rate measurements - IEEE Transactions on electromagnetic compatibility., IEEE Transactions on electromagnetic compatibility, 2010.

Contexte

■ L'étalement des retards ou (RMS Delay Spread)

L'étalement des retards est un paramètre très important pour caractériser un canal de transmission. Ce paramètre prend en compte l'amplitude et le retard de chaque rayon * :

$$\tau_{\text{RMS}} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2}$$

Avec

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_i \tau_i^2 \text{PDP}(\tau_i)}{\sum_i \text{PDP}(\tau_i)}$$

et

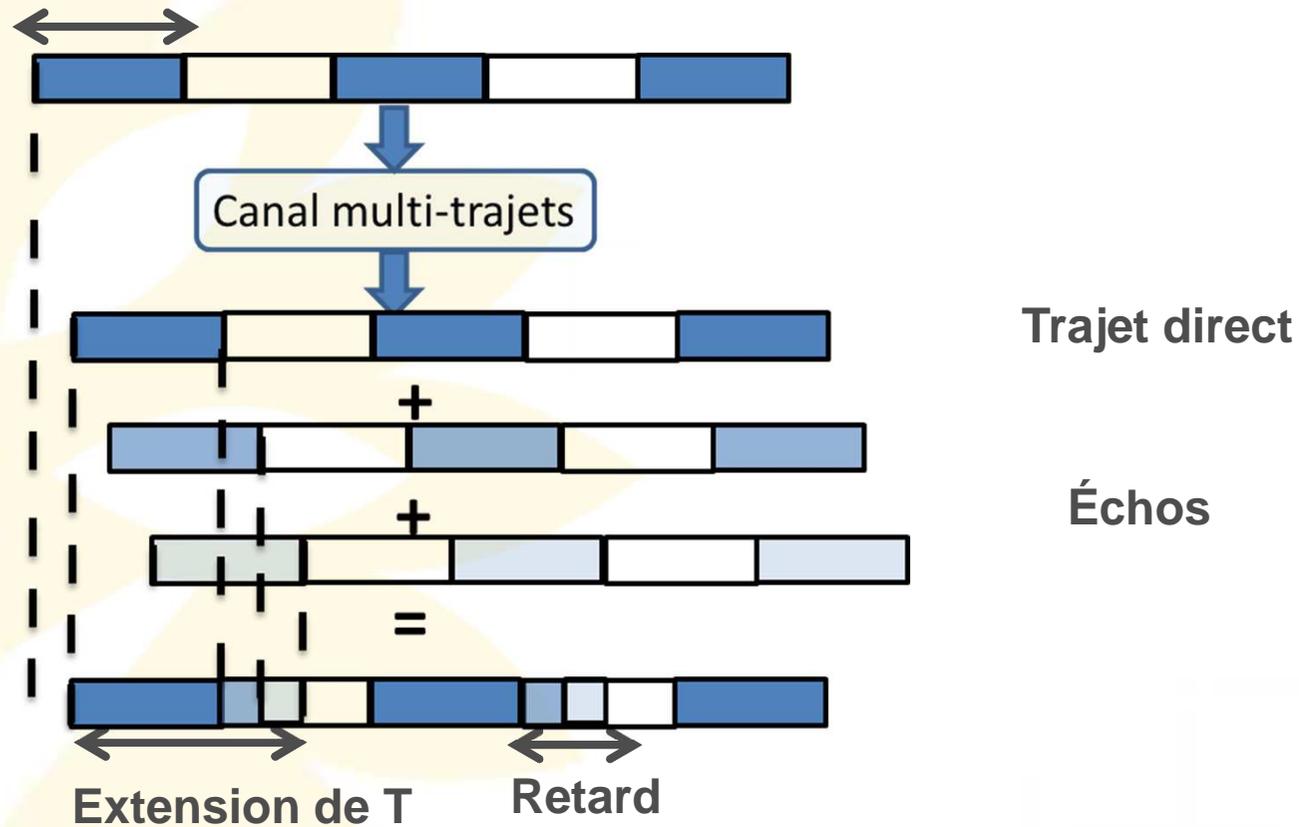
$$\overline{\tau} = \frac{\sum_i \tau_i \text{PDP}(\tau_i)}{\sum_i \text{PDP}(\tau_i)}$$

* Simon R. Saunders, Alejandro Aragon Zavala, " Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, second edition ", 2007.

Contexte

- L'étalement des retards ou (RMS Delay Spread)

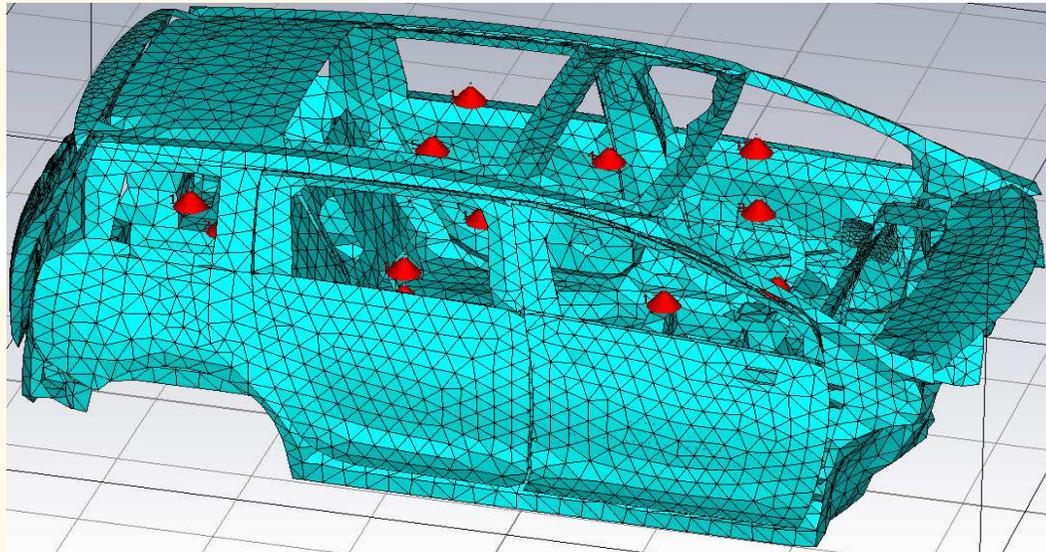
T : durée d'un symbole



Si $\tau_{RMS} \ll T$ pas d'interférence inter-symboles (intersymbol interference)

Contexte

- Caractérisation du canal de propagation dans un habitacle véhicule



→ **Contrainte : l'effet des ouvertures sur le canal de transmission**

- Reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique parallélépipédique.
- Utilisation d'une cavité semi-fermée résonante pour étudier l'effet de l'emplacement d'antennes par rapport à une ouverture sur les paramètres caractéristiques d'un canal multi-trajets.

Problématique

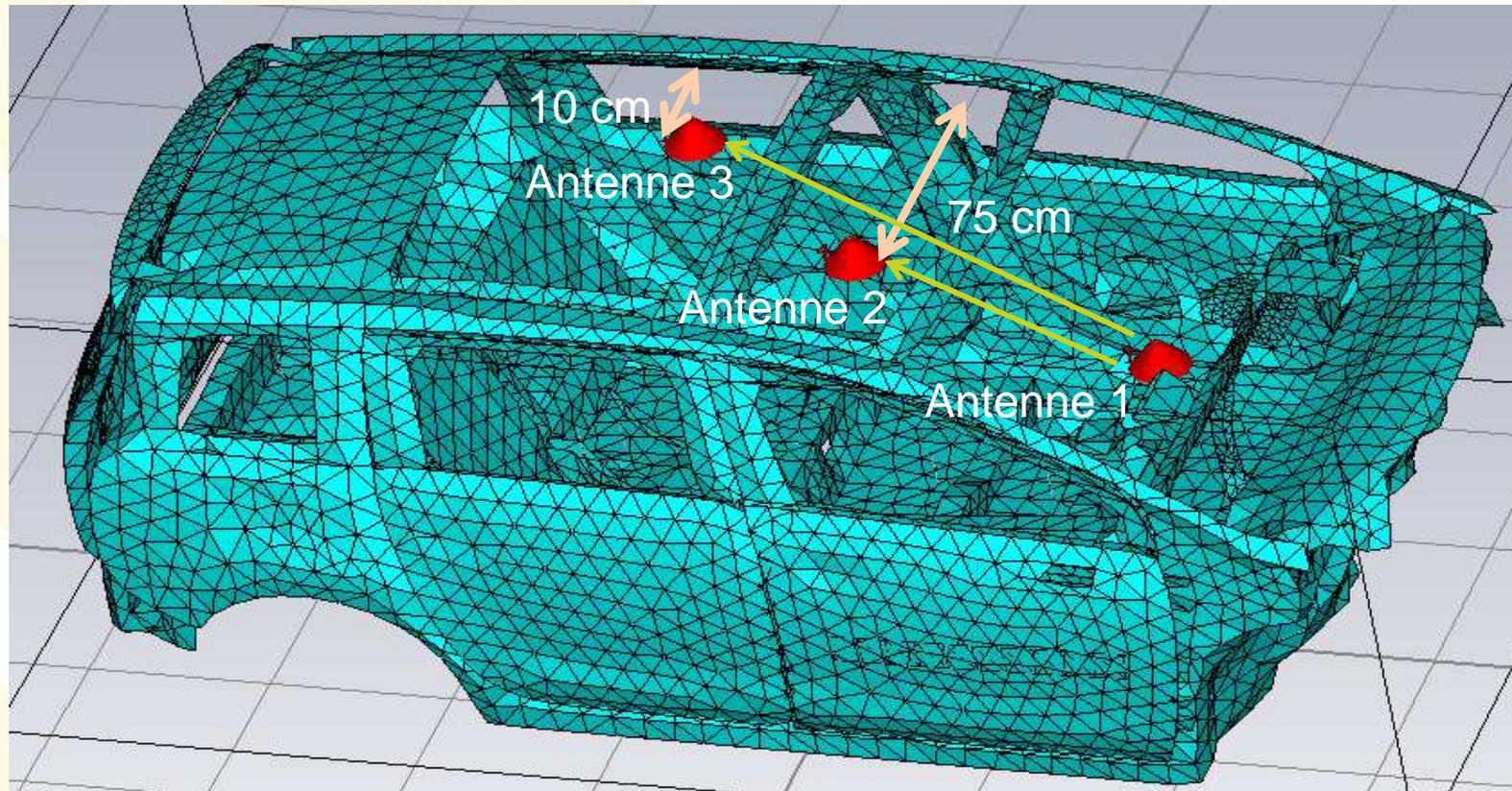
- Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule?
- Quel est l'effet de l'emplacement des antennes sur l'étalement des retards dans un véhicule?
- Est-il possible de reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique de même dimension?
- Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit ?

Problématique

- **Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule?**
- Quel est l'effet de l'emplacement des antennes sur l'étalement des retards dans un véhicule?
- Est-il possible de reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique de même dimension?
- Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit ?

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule

On place dans un habitacle véhicule 3 dipôles de longueur 10 cm



Positionnement des antennes

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule

□ Détails de la simulation avec CST Microwave Studio®

Antennes : trois dipôles (rayon 2mm)

Polarisation : verticale

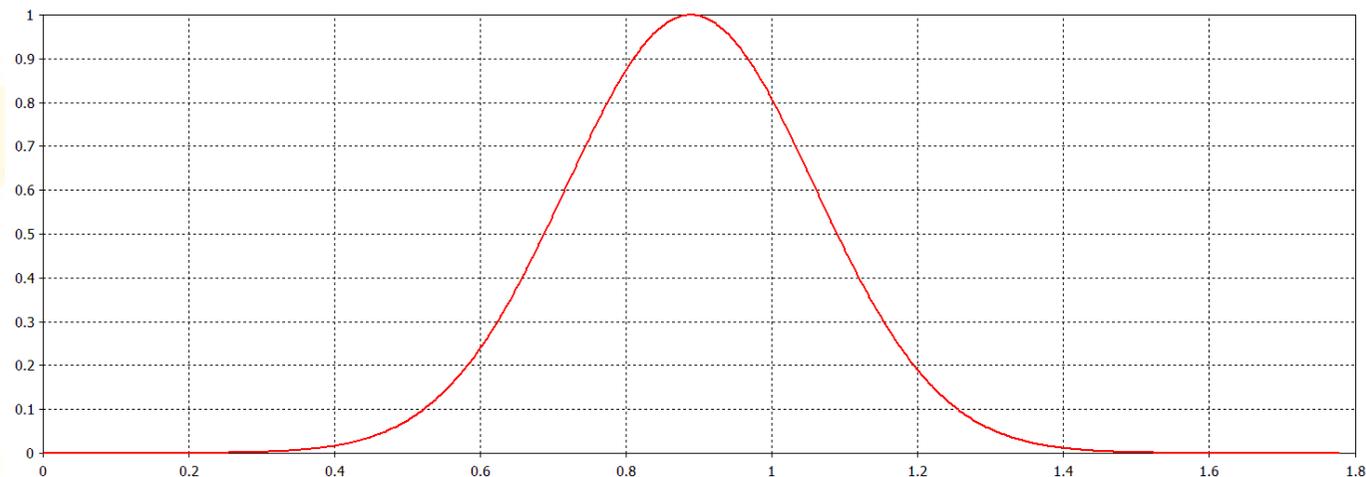
Puissance injectée: 1 W

Conductivité d'antennes: métal parfaitement conducteur (PEC)

Conductivité des parois de la structure : acier (steel)

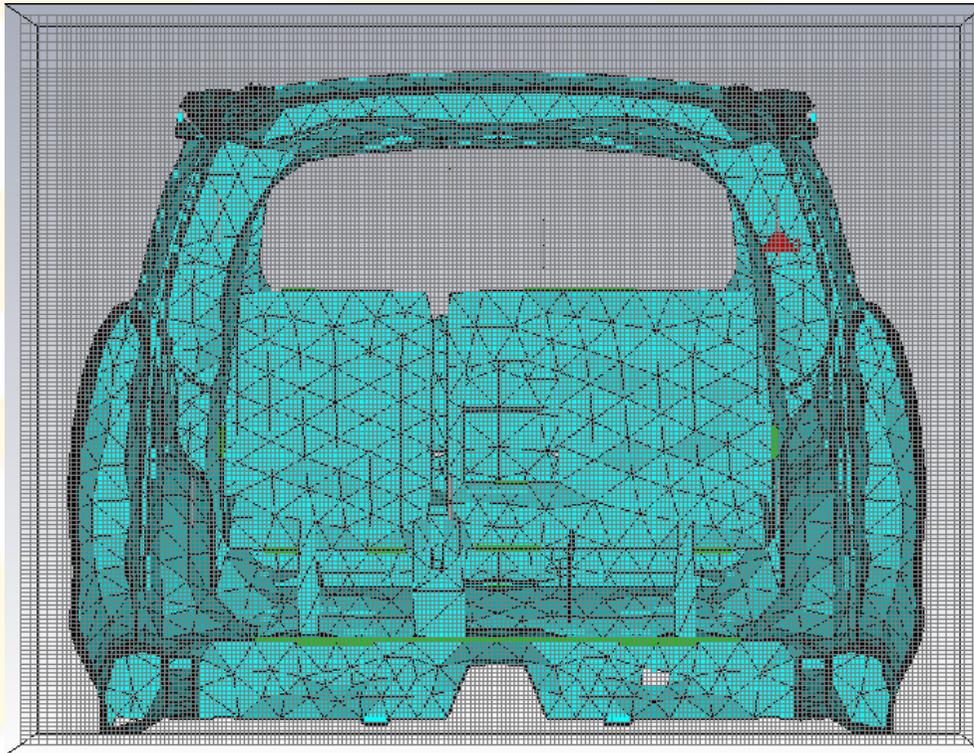
Code de calcul : temporel (Time-domain)

Signal d'excitation: gaussien



Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission en véhicule

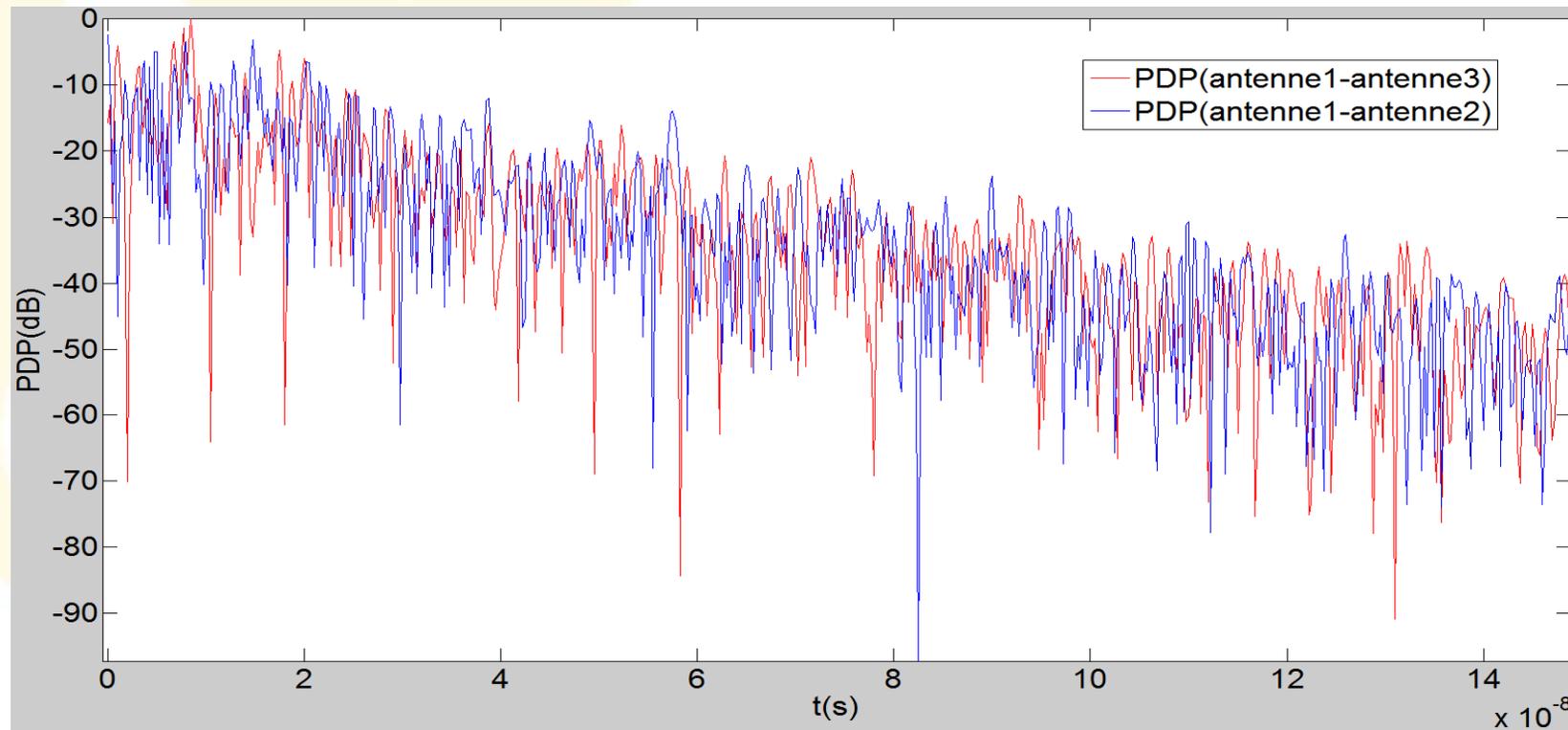
- Détails de la simulation avec CST Microwave Studio®



Mesh type : Hexahedral
Lines per wavelength : 8
Mesh limit ratio : 10
Mesh generation: Automatic+ Subgridding
Refine at PEC : 2
Mesh step (min,max) : 4.64 mm,18.77 mm
Mesh cells : 7 512 016
Boundaries: Open+ Electric wall (PEC)

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule

1) Cas du Power Delay Profile (PDP)



PDP pour $d=10\text{cm}$ et PDP pour $d=75\text{cm}$

- Effet négligeable de la distance antenne-ouverture sur le PDP

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule

2) Cas du RMS Delay Spread

Antennes	RMS Delay Spread (ns)
Antenne 1- Antenne 3 (d=10cm)	13,28
Antenne 1- Antenne 2 (d=75cm)	14,50

RMS Delay Spread pour les différentes configurations

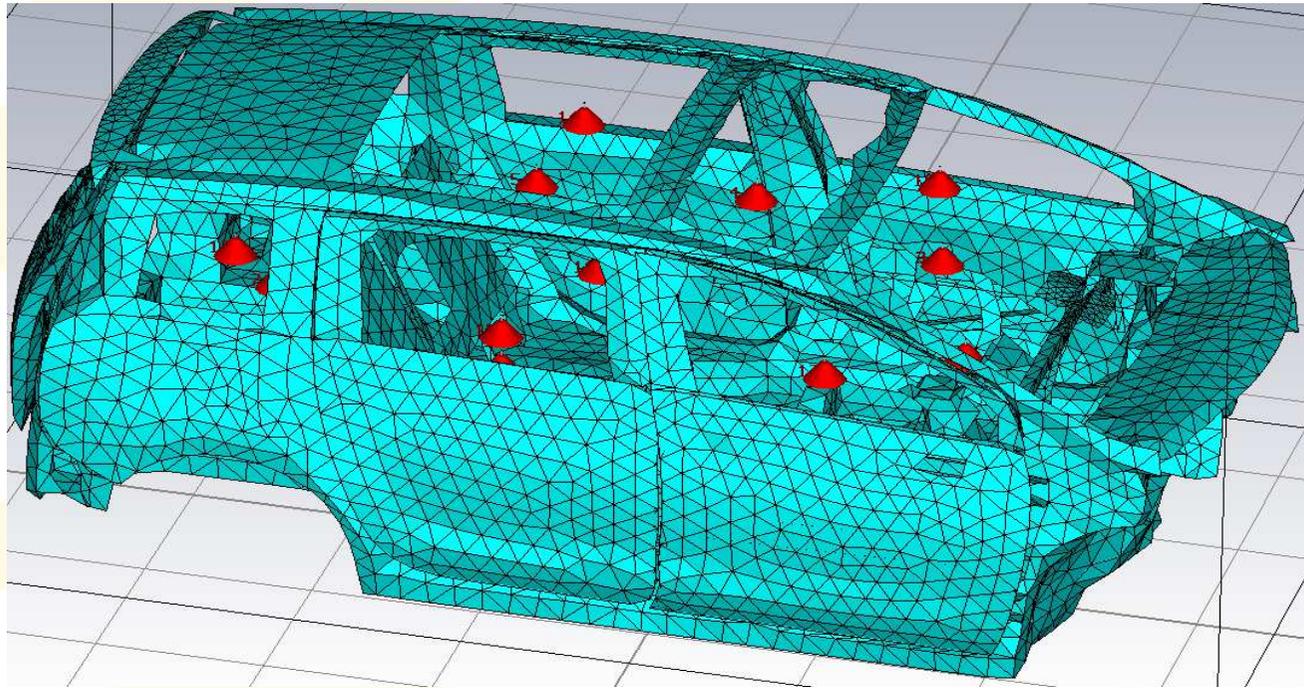
- Effet négligeable de la distance antenne-ouverture sur le RMS Delay Spread

Problématique

- Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule?
- **Quel est l'effet de l'emplacement des antennes sur l'étalement des retards dans un véhicule?**
- Est-il possible de reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique de même dimension?
- Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit ?

Effet de l'emplacement des antennes sur l'étalement des retards dans un véhicule

- On positionne dans l'habitacle véhicule 17 antennes similaires aux précédentes .



Positionnement des antennes

Effet de l'emplacement des antennes sur l'étalement des retards dans un véhicule

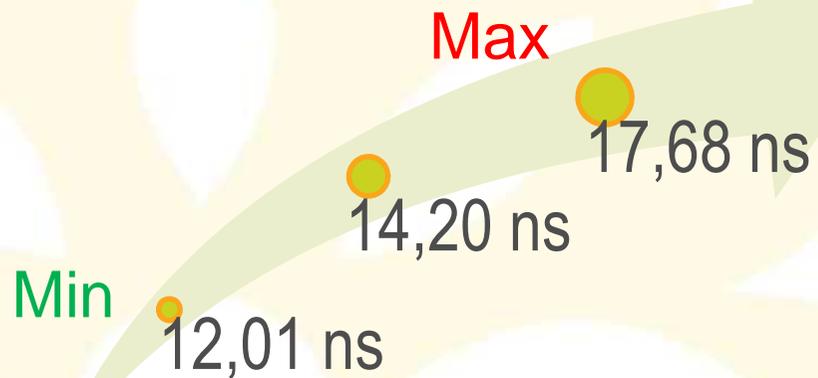
- Effet de l'emplacement d'antennes sur le RMS Delay Spread

Antennes	RMS Delay Spread (ns)
Antenne1- Antenne 2	13.22
Antenne1- Antenne 3	13.70
Antenne1- Antenne 4	14.50
Antenne1- Antenne 5	14.84
Antenne1- Antenne 6	14.18
Antenne1- Antenne 7	17.68
Antenne1- Antenne 8	14.88
Antenne1- Antenne 9	13.86
Antenne1- Antenne 10	13.33
Antenne1- Antenne 11	14.84
Antenne1- Antenne 12	16.95
Antenne1- Antenne 13	15.71
Antenne1- Antenne 14	13.28
Antenne1- Antenne 15	12.62
Antenne1- Antenne 16	15.06
Antenne1- Antenne 17	12.11
RMS Delay Spread moyen	14.20

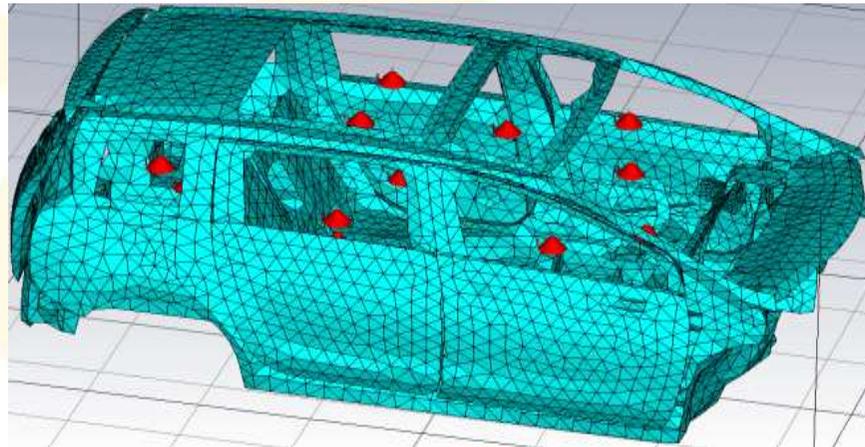
RMS Delay Spread selon l'emplacement des antennes

Effet de l'emplacement des antennes sur l'étalement des retards dans un véhicule

RMS Delay Spread (Véhicule)



Objectif :
Trouver l'emplacement idéal pour minimiser le taux d'erreur bit et augmenter le débit maximal du canal

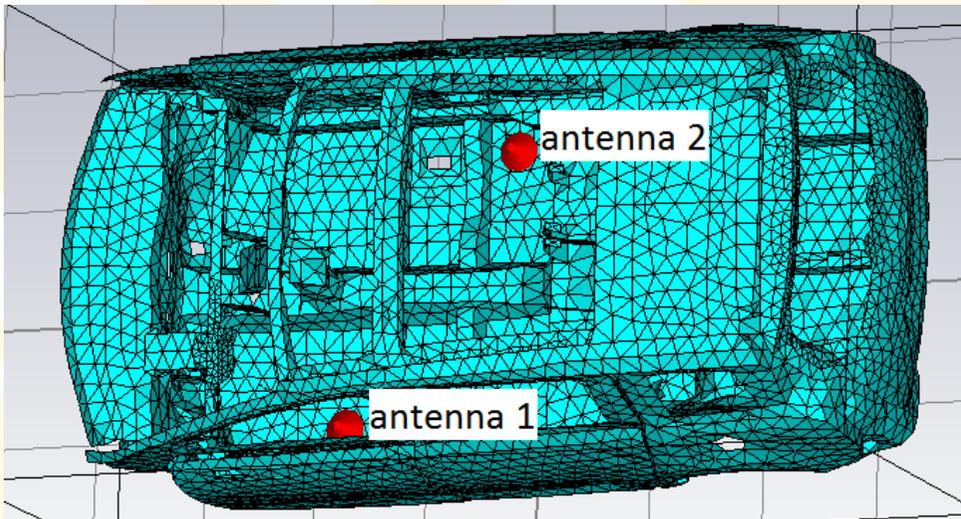


Problématique

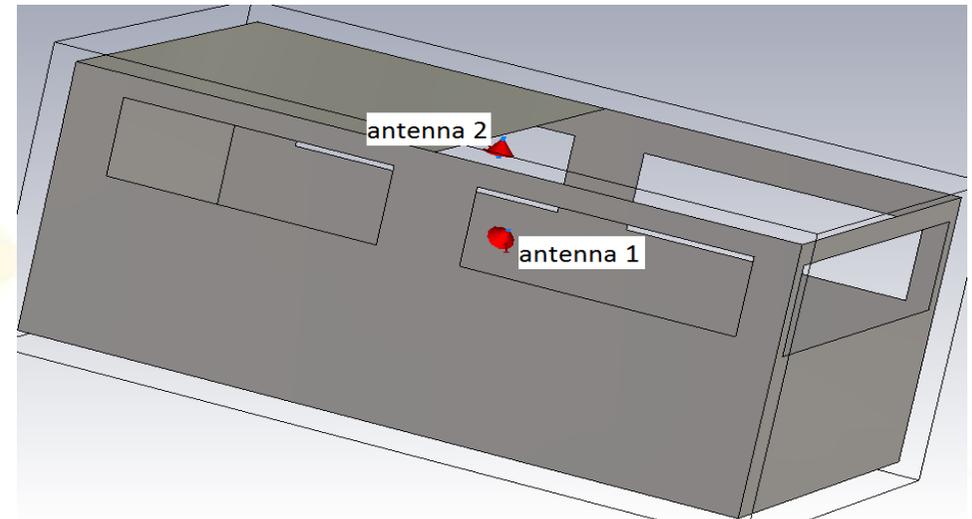
- Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule?
- Quel est l'effet de l'emplacement des antennes sur l'étalement des retards dans un véhicule?
- **Est-il possible de reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique de même dimension?**
- Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit ?

Reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique de même dimension

- Retrouver le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité semi-fermée avec la même proportion d'ouvertures

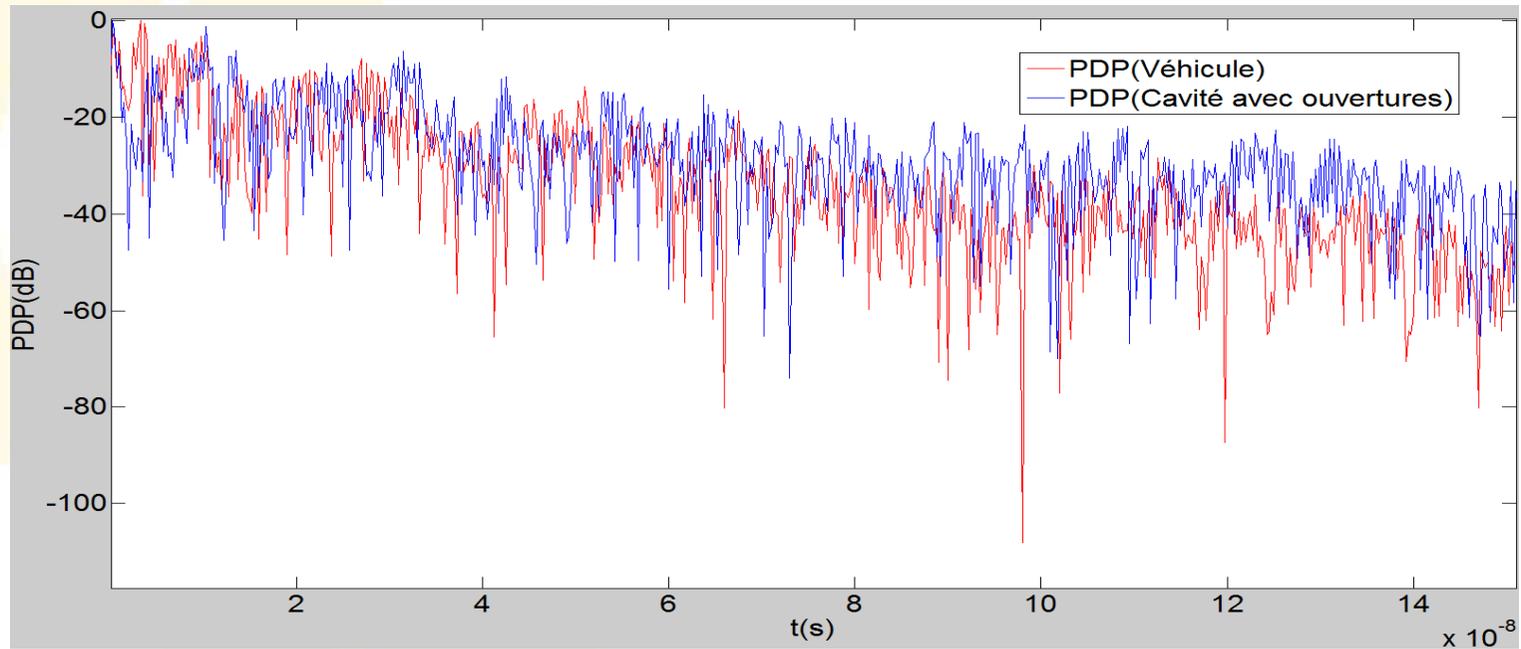


Véhicule



Cavité avec ouvertures

Reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique de même dimension



PDP en véhicule et en cavité avec ouvertures

	RMS Delay Spread (ns)
Véhicule	13.41
Cavité avec ouvertures	22.38

RMS Delay Spread en véhicule et en cavité avec ouvertures

Problématique

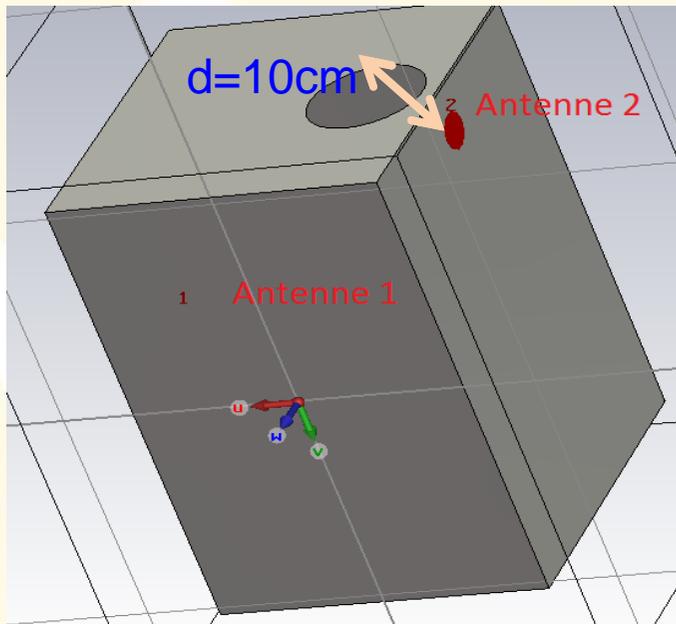
- Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans un véhicule?
- Quel est l'effet de l'emplacement des antennes sur l'étalement des retards dans un véhicule?
- Est-il possible de reproduire le canal de transmission d'un véhicule dans une cavité métallique de même dimension?
- **Quel est l'effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit ?**

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit

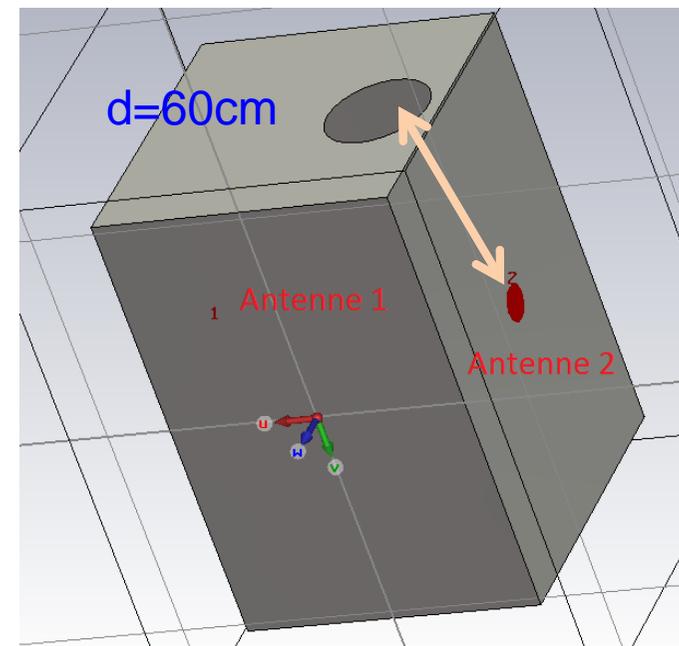
Cavité métallique :

- Dimensions ($1,035 \times 0,7 \times 0,7 \text{ m}^3$)
- Ouverture circulaire de diamètre $D = 240 \text{ mm}$ sur la face horizontale supérieure
- Introduction dans le modèle de deux antennes filaires (polarisation H et longueur = 15 cm)

Antenne de réception placée à deux distances différentes $d=10 \text{ cm}$ puis $d=60 \text{ cm}$ de l'ouverture



Antenne réceptrice à $d=10 \text{ cm}$ de l'ouverture

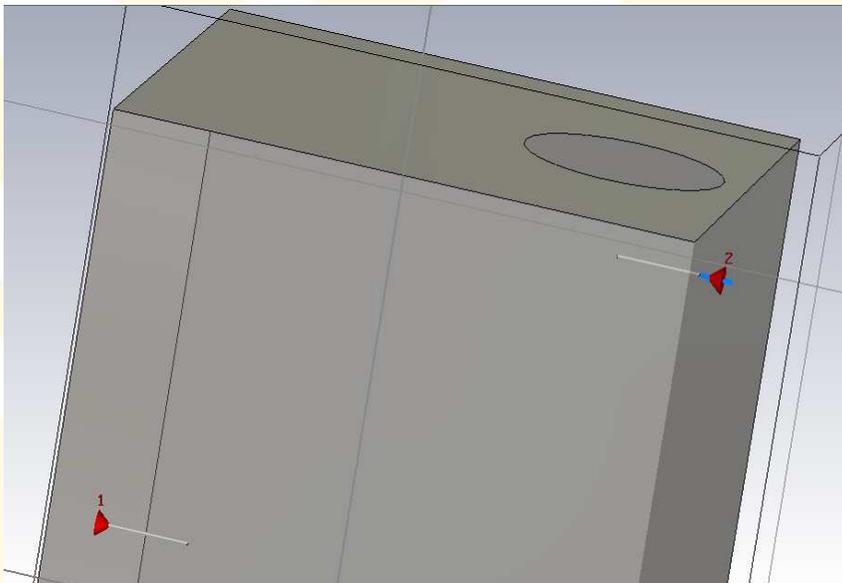


Antenne réceptrice à $d=60 \text{ cm}$ de l'ouverture

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit

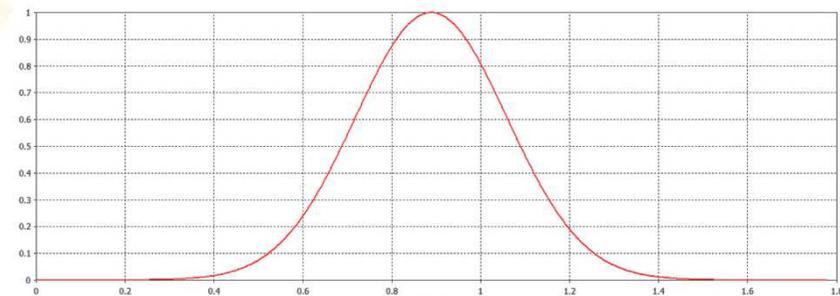
□ Détails de la simulation avec CST Microwave Studio®

- Antennes : 2 monopôles (rayon 2mm)
- Puissance injectée: 1 W
- conductivité: métal parfaitement conducteur (PEC)



Cavité métallique avec une ouverture circulaire

Signal d'excitation: gaussien

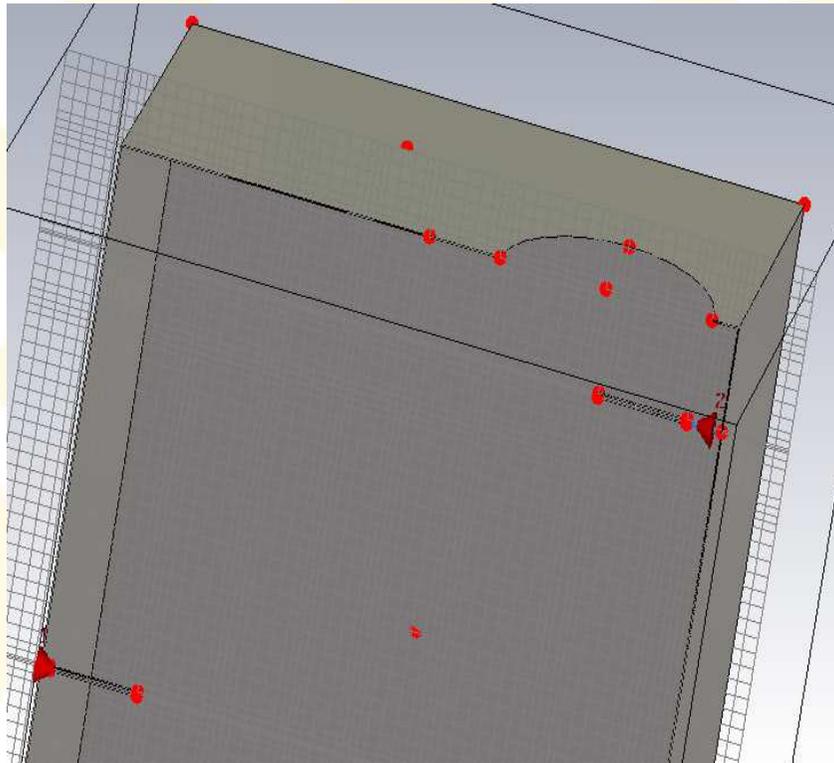


Conductivité des parois de la cavité : PEC

Code de calcul : Temporel (Time-domain)

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit

□ Détails de la simulation avec CST Microwave Studio®



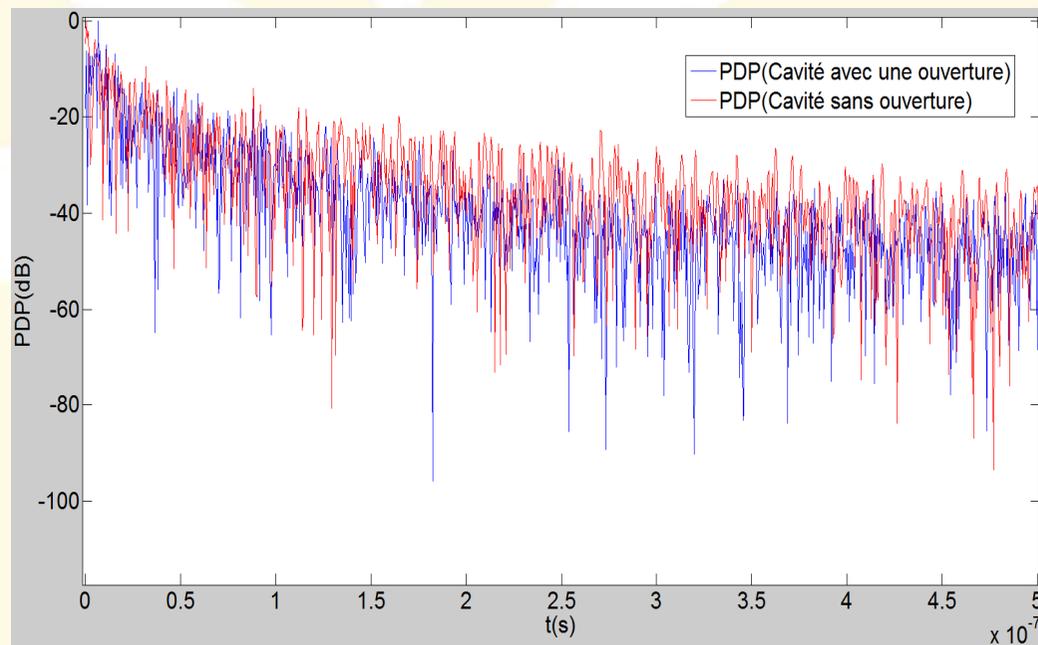
- Mesh type : Hexahedral
- Lines per wavelength : 10
- Mesh limit ratio : 10
- Mesh generation: Automatic
- Refine at PEC : 2
- Mesh step (min,max) : 1.74 mm,15.97 mm
- Mesh cells : 503.42
- Boundaries: Open

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit

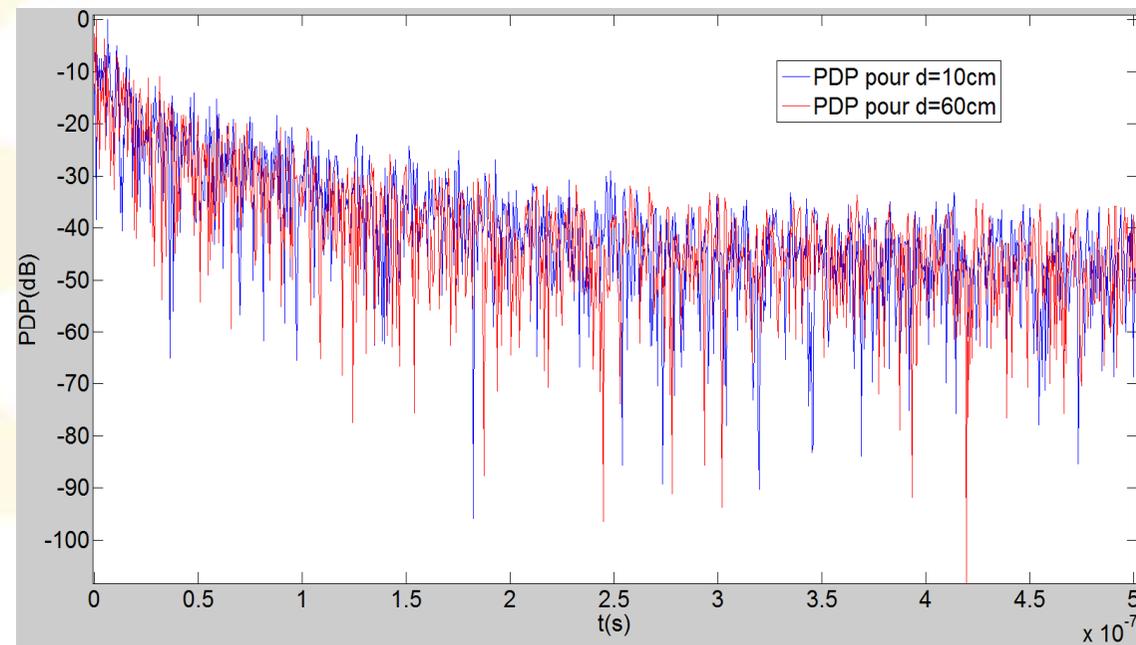
1) Cas du Power Delay Profile (PDP)

Pour une position fixe d'antennes, et sans brasseur, le PDP s'écrit :

$$\text{PDP}(t) = |h_k(t)|^2$$



PDP dans une même cavité avec et sans ouverture



PDP pour d=10cm et d=60cm

➤ Effet négligeable de la distance antenne-ouverture sur le PDP

Effet de la distance antenne-ouverture sur le canal de transmission dans une cavité de volume réduit

2) Cas du RMS Delay Spread

	RMS Delay Spread (ns)
Cavité sans ouverture	58,06
Cavité avec ouverture (d=10cm)	38,76
Cavité avec ouverture (d=60cm)	37,70

RMS Delay Spread pour les différentes configurations

- Effet négligeable de la distance antenne-ouverture sur le RMS Delay Spread

Conclusions

- **La simulation numérique a permis :**
 - De vérifier que la distance antenne-ouverture n'influe pas sur un canal multi-trajets.
 - D'étudier l'effet de l'emplacement d'antennes dans un véhicule sur l'étalement des retards.
 - De reproduire le canal de transmission multi-trajets d'un véhicule dans une cavité de volume équivalent au volume véhicule.
- **Faible effet de la distance antenne-ouverture et de l'emplacement des antennes dans un véhicule sur le canal de transmission multi-trajets.**

Perspectives

- **Evaluer les protocoles de radiocommunication représentatifs de l'environnement et du contexte applicatif automobile dans une cavité équivalente.**