

# Projet OPALHA : Prédiction de la propagation sonore en milieu urbain à l'aide d'un modèle de diffusion

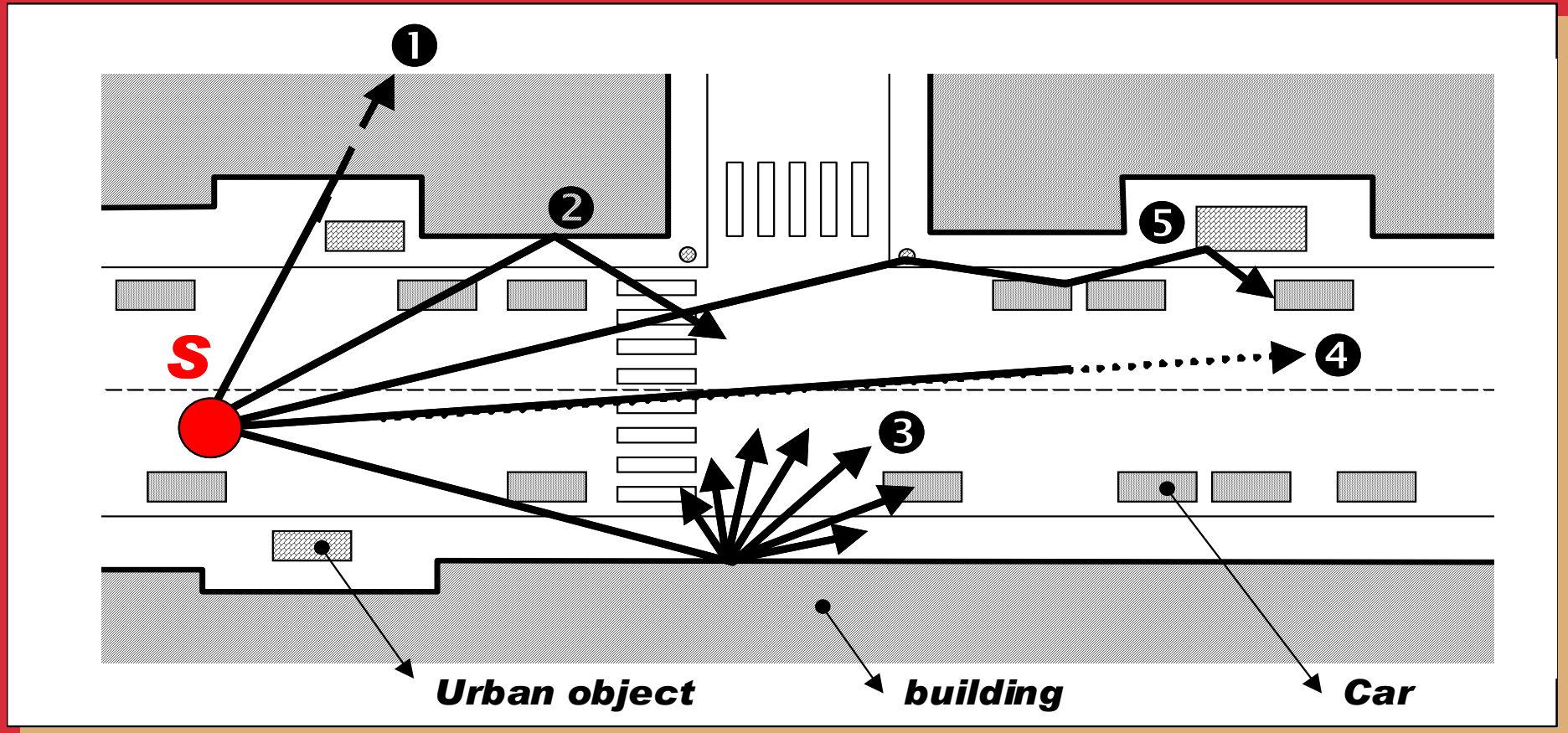
Journées de clôture : Opération de recherche 11MO61  
19 mai 2010, LCPC Nantes

**A. Billon**  
**J. Picaut**  
**V. Valeau**  
**A. Sakout**

Université de Liège, Belgique  
LCPC-Nantes, France  
P' Université de Poitiers, France  
LEPTIAB Université de La Rochelle, France

# 1. Introduction

- Complexité de la propagation sonore en milieu urbain



# 1. Introduction

- Modèle de prévision
  - intégrant les différents phénomènes physiques ;
  - adapté aux géométries complexes ;
  - aussi simple que possible ;
  - aussi rapide que possible.

Le modèle de diffusion dérive d'un processus de transport de particules sonores:

- 2 plans infinis
- Absence de sol
- Absence d'absorption aux façades
- Largeur de la rue  $\ll$  hauteur

# 1. Introduction

- Equation de diffusion [Le Pollès, 2003]

$$\frac{\partial w(\mathbf{r}, t)}{\partial t} - K \nabla^2 w(\mathbf{r}, t) + mcw(\mathbf{r}, t) = 0$$

$w$  densité d'énergie acoustique

$$K = \frac{2 - s}{s} \frac{\ell c}{2}$$

$\ell$  demi-largeur de la rue

$s$  coefficient de diffusion

$c$  vitesse du son

$m$  atténuation atmosphérique

- Conditions aux limites

$$h = c/2$$

Ciel et extrémités

$$h = c\alpha/2$$

façades et sol

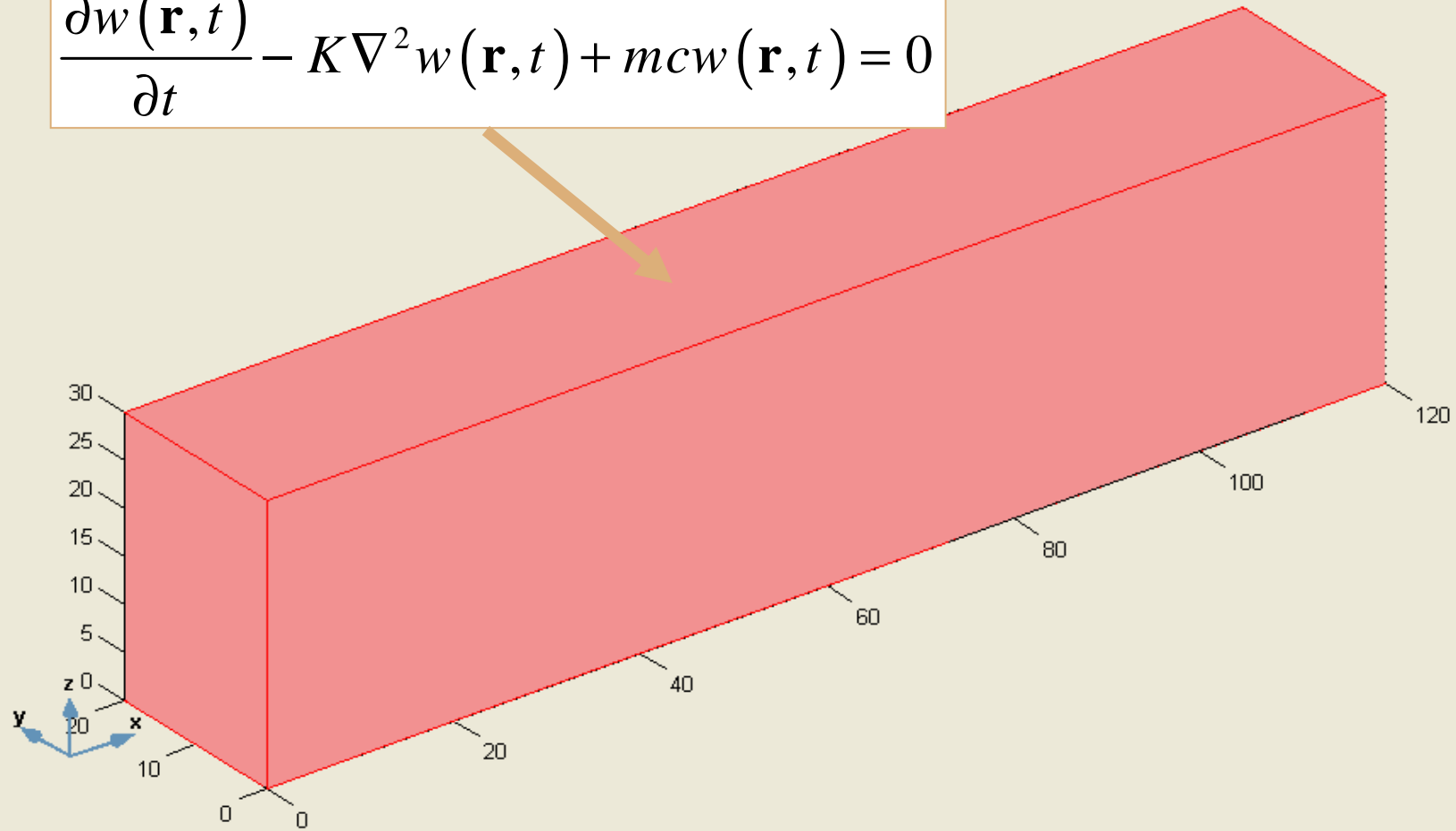
- $h$  et  $K$  dépendent des lois de réflexions [Colle, 2006]

## 2. Apports du projet

- Absorption des parois
- Effet du sol
- Atténuation atmosphérique
- Validations numériques (Tirs de rayons)
  - SPPS (LCPC Nantes)
  - Salrev (Université de Liège)
- Comparaisons expérimentales à la fois in situ et sur maquettes

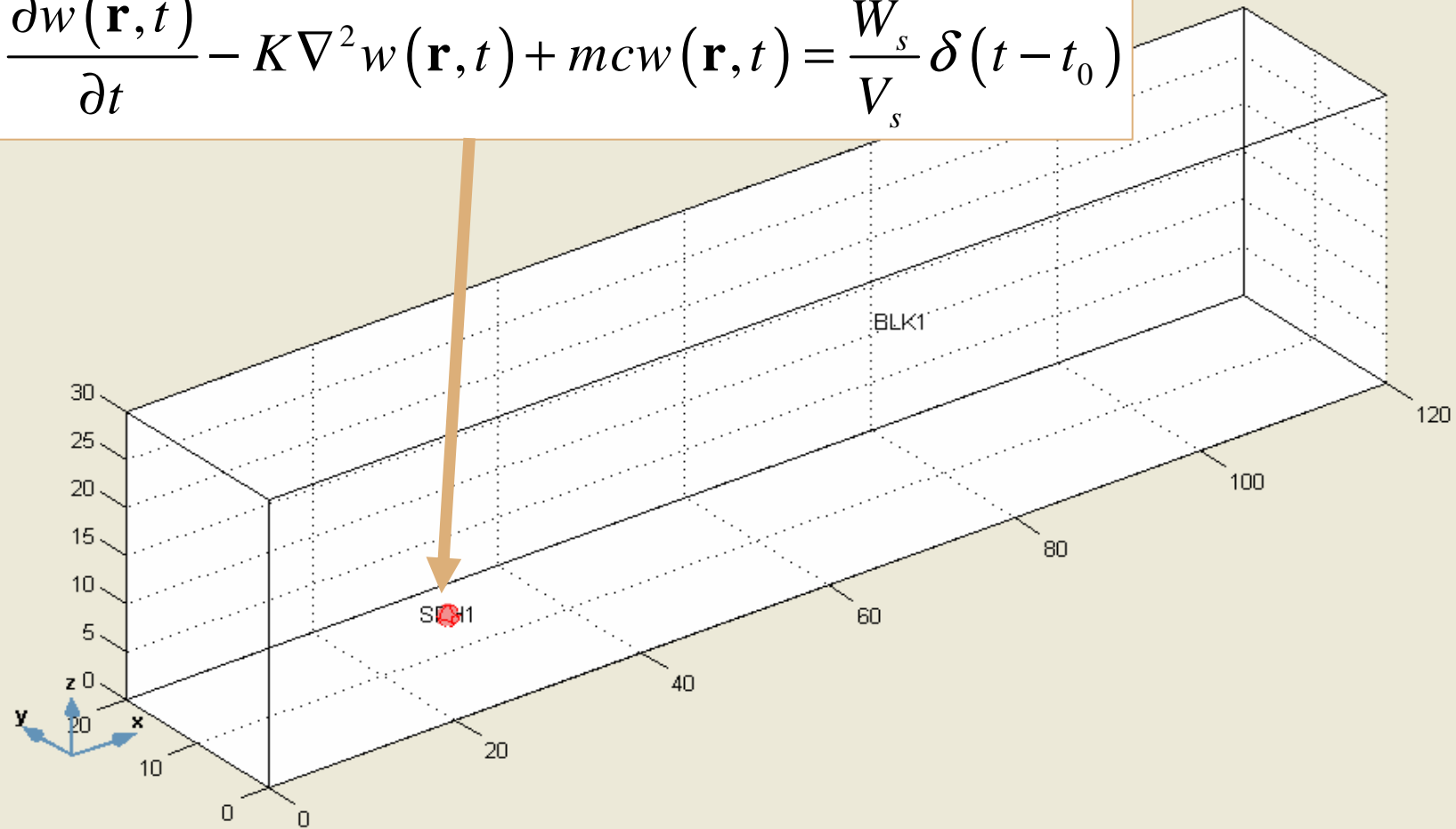
# 3. Implémentation numérique

$$\frac{\partial w(\mathbf{r}, t)}{\partial t} - K \nabla^2 w(\mathbf{r}, t) + mcw(\mathbf{r}, t) = 0$$

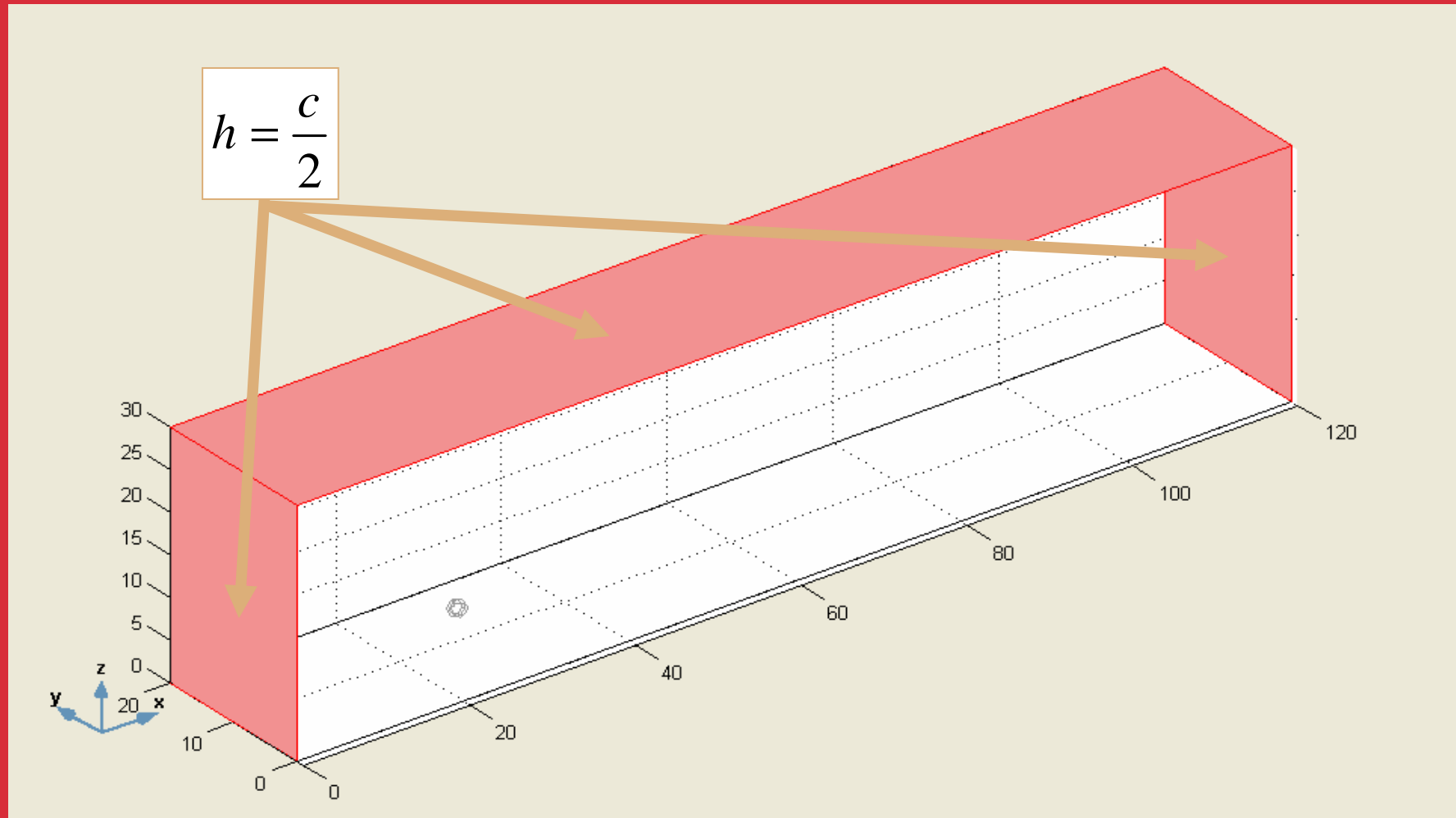


# 3. Implémentation numérique

$$\frac{\partial w(\mathbf{r}, t)}{\partial t} - K \nabla^2 w(\mathbf{r}, t) + mcw(\mathbf{r}, t) = \frac{W_s}{V_s} \delta(t - t_0)$$

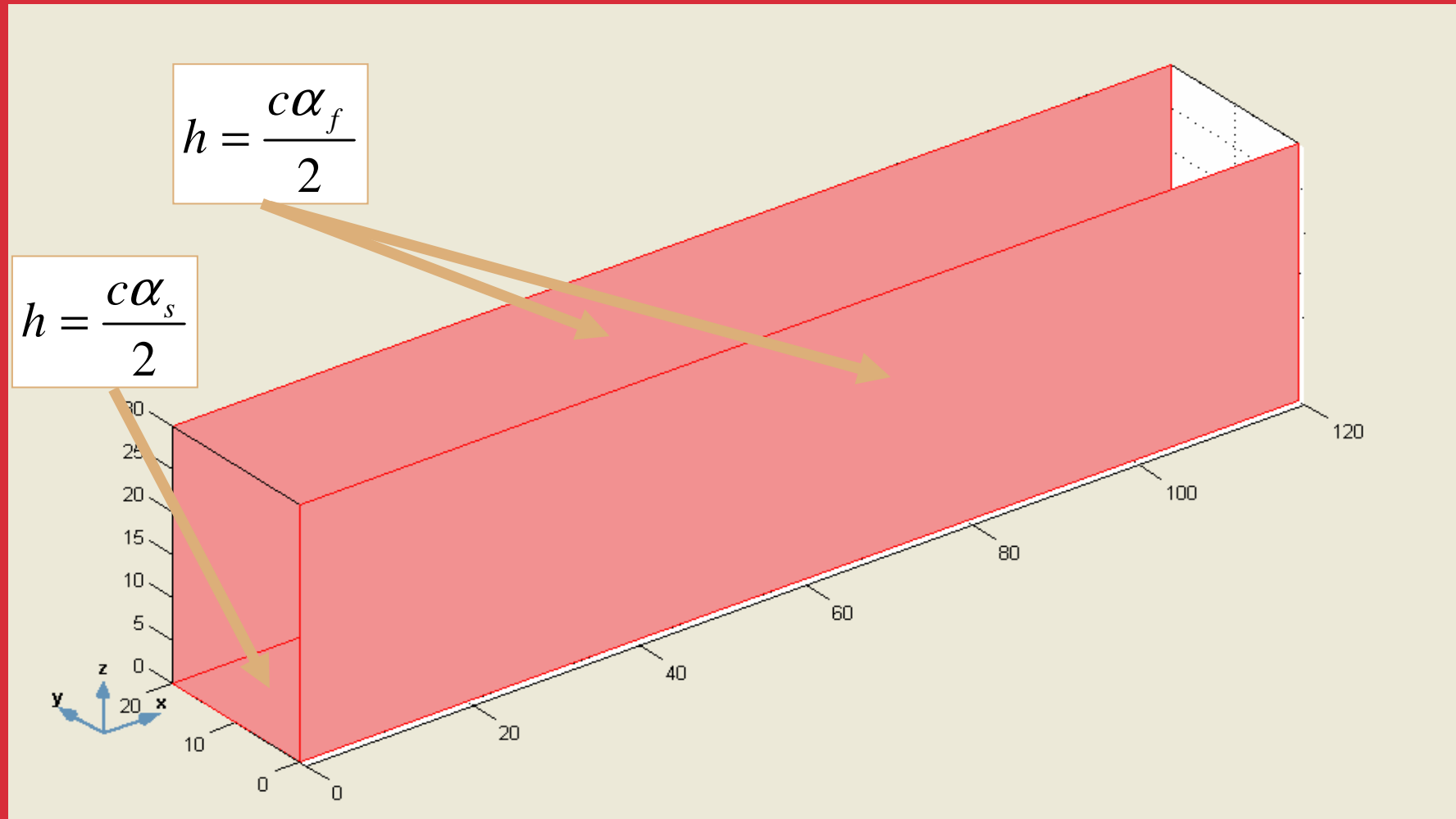


# 3. Implémentation numérique



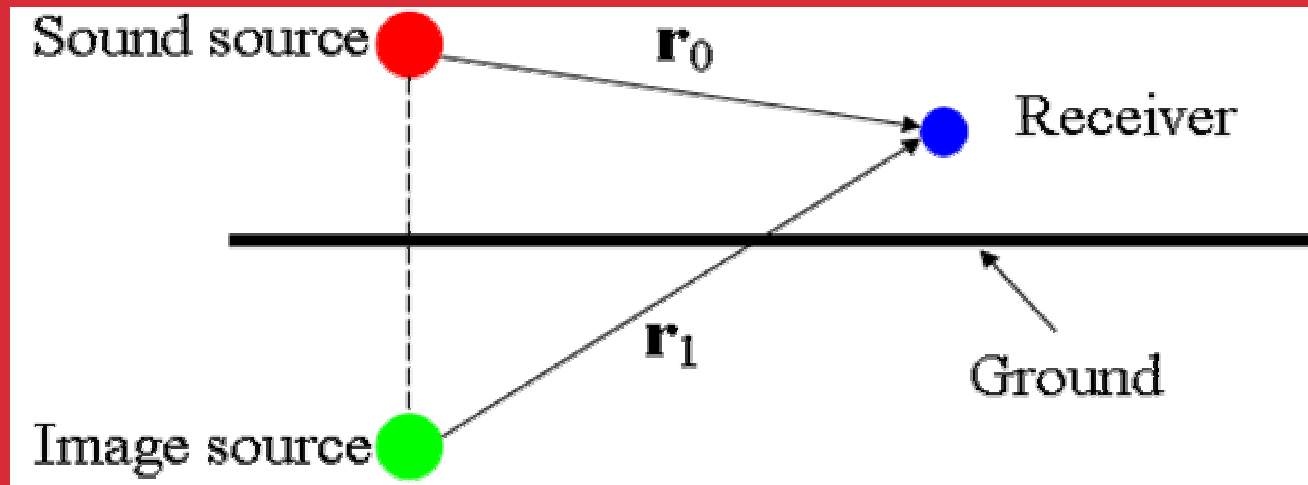


# 3. Implémentation numérique



### 3. Implémentation numérique

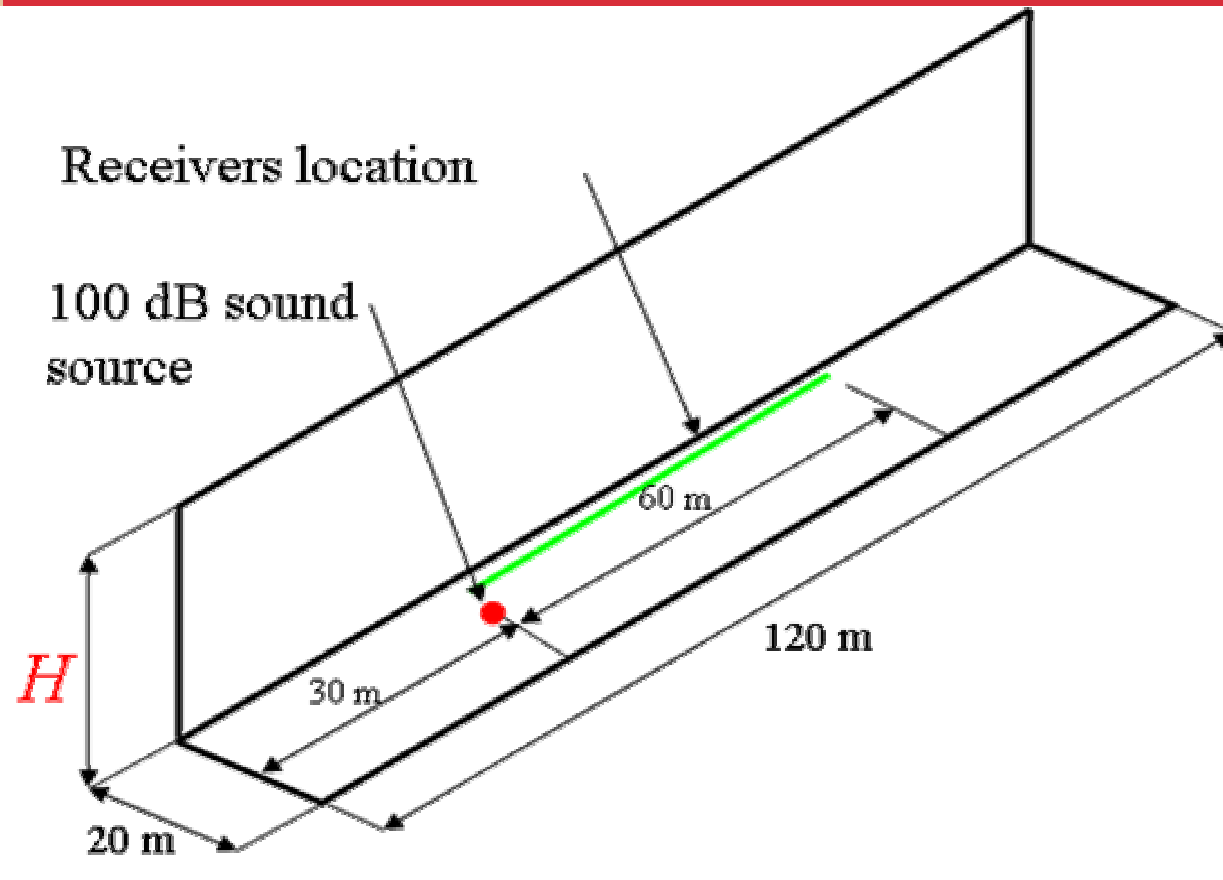
- Maillage non structuré: 3000 éléments
- Méthode des éléments finis
- Temps de calcul : <10 s en régime stationnaire (SPL)
- Temps de calcul : >20 s en réponse impulsionnelle (RT)
- Prise en compte du champ direct et du sol



$$SPL(\mathbf{r}) = 10 \log_{10} \left[ \frac{\rho c}{p_{ref}^2} \left( \frac{W_s}{4\pi r_0^2} e^{-mr_0} + (1 - \alpha_s) \frac{W_s}{4\pi r_1^2} e^{-mr_1} + cw(\mathbf{r}) \right) \right]$$

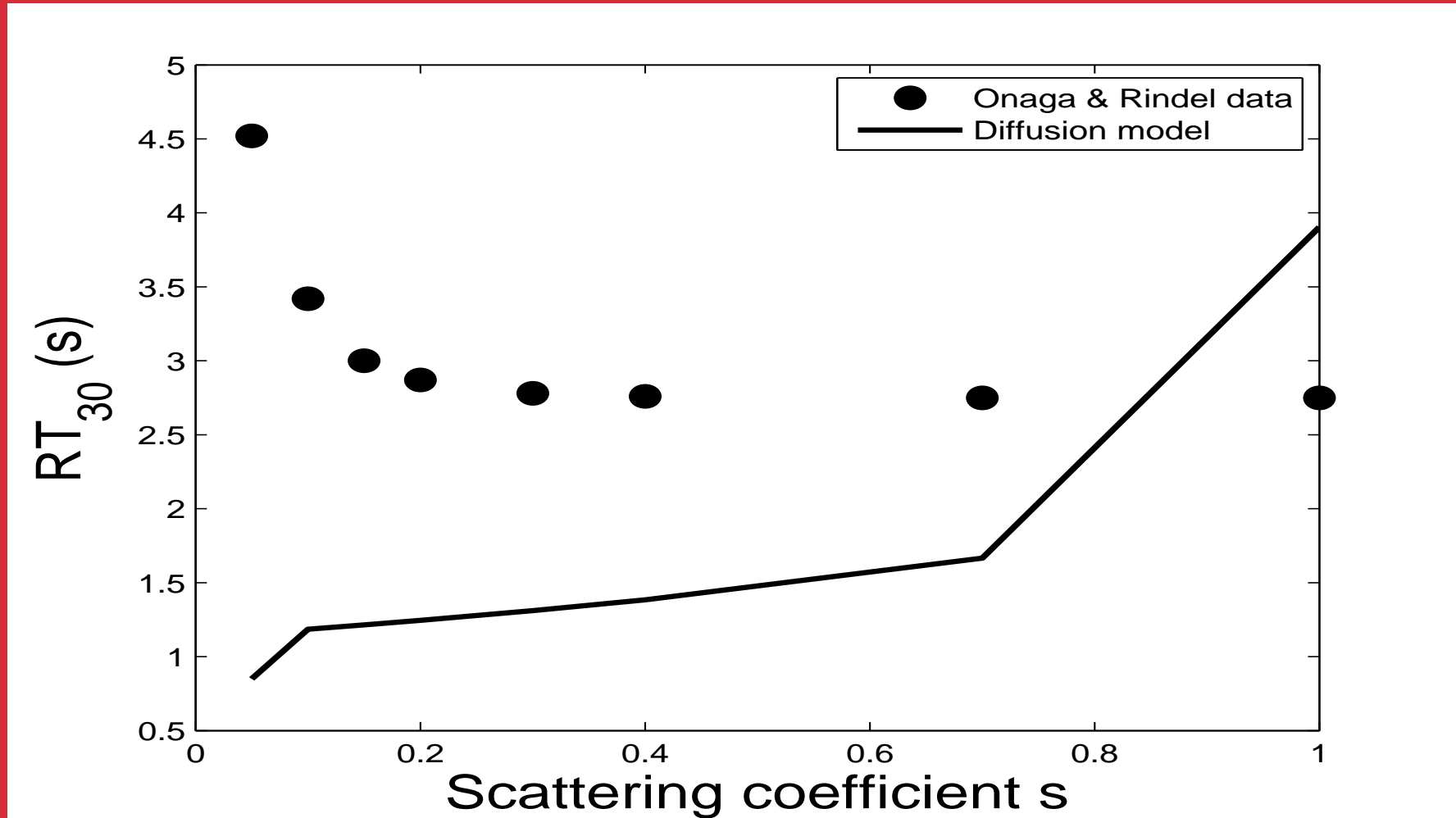
## 4. Validation numériques

- Résultats d'Onaga and Rindel [AA, 2007]



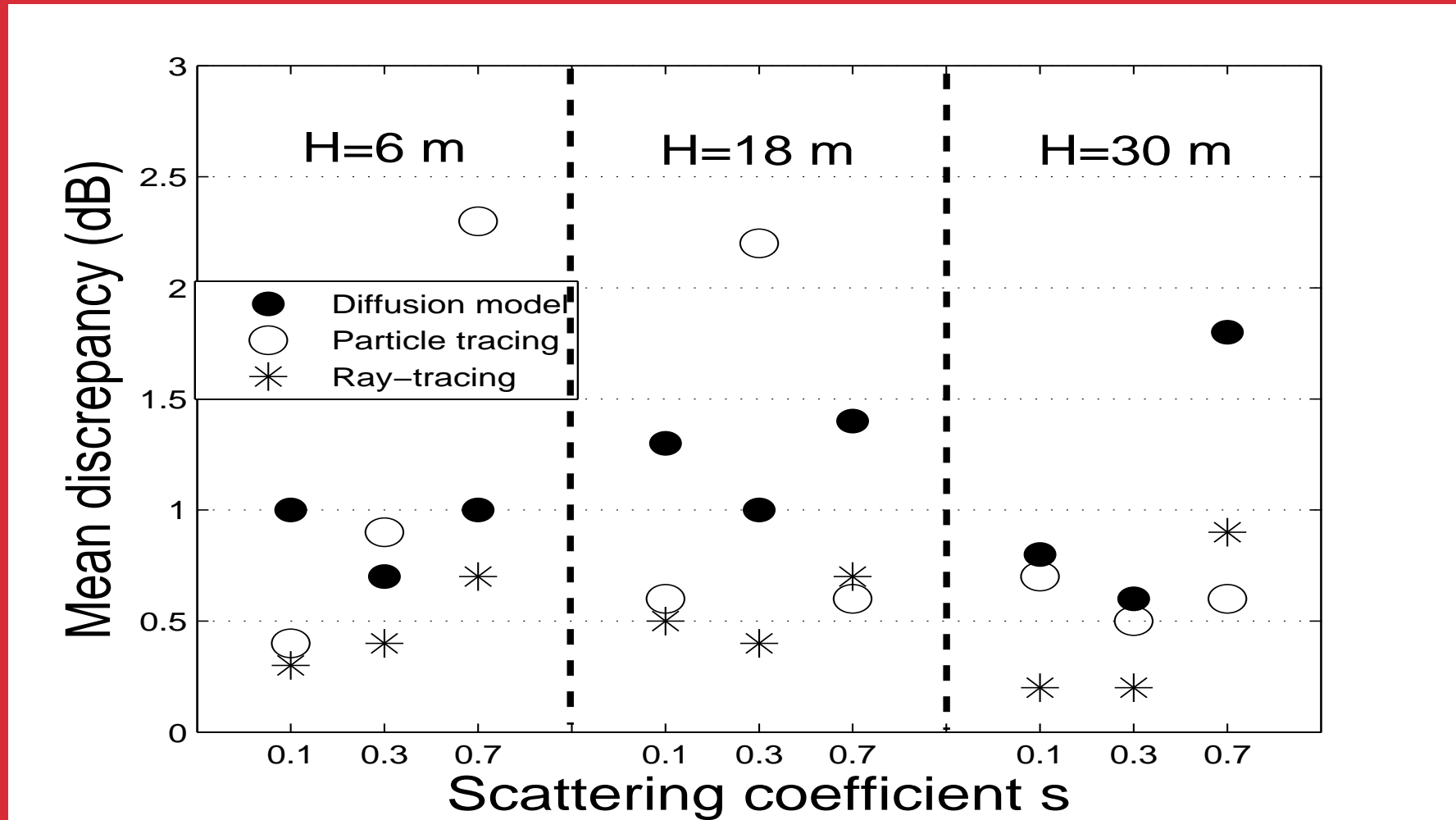
- 3 Hauteurs de façades
  - 6 m
  - 18 m
  - 30 m
- Absorption du sol
  - 0.1
- Absorption des façades
  - 0.2
- 3 Coefficients de diffusion des façades
  - 0.1
  - 0.3
  - 0.7

# 4.1 Temps de réverbération



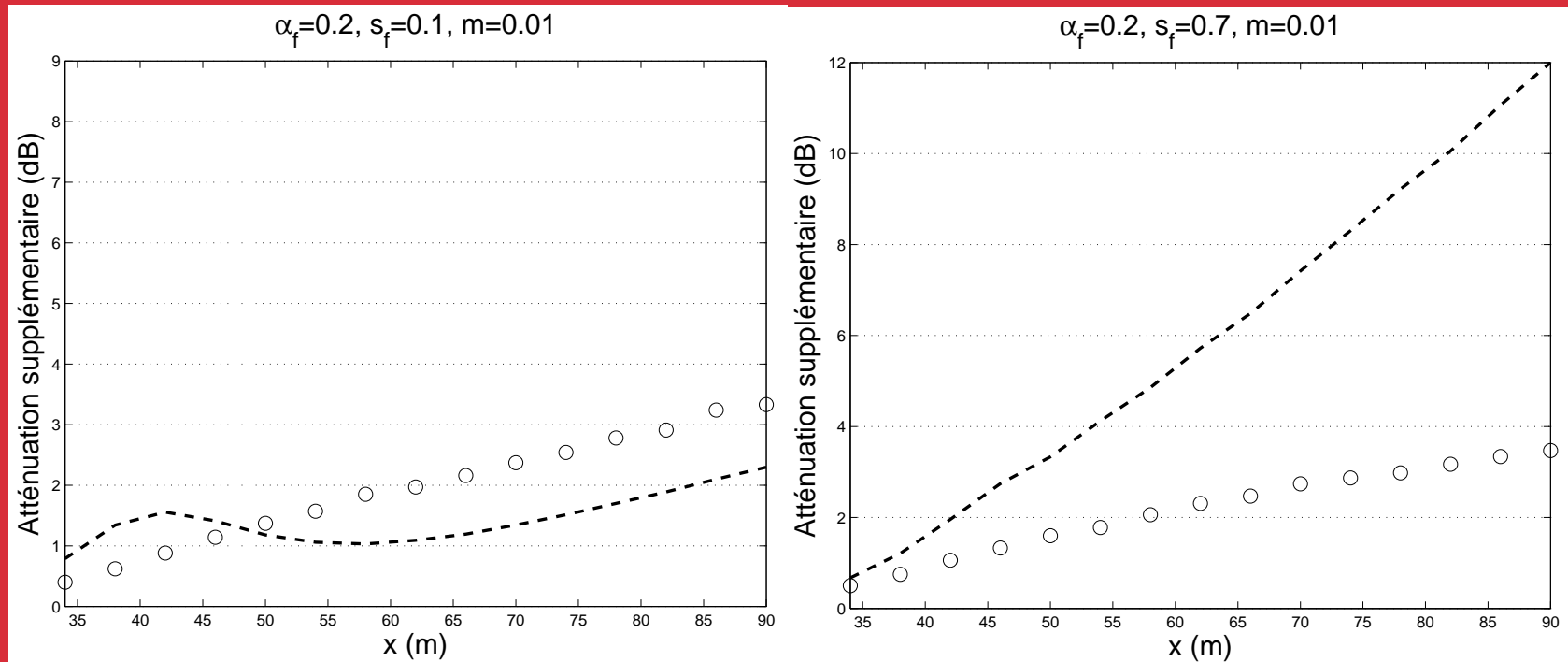
Le modèle de diffusion ne peut pas prévoir le temps de réverbération.

## 4.2 SPL avec absorption



Bon accord, absorption des façades bien prise en compte, même pour de faibles hauteurs de façades.

# 4.3 SPL avec atténuation atmosphérique

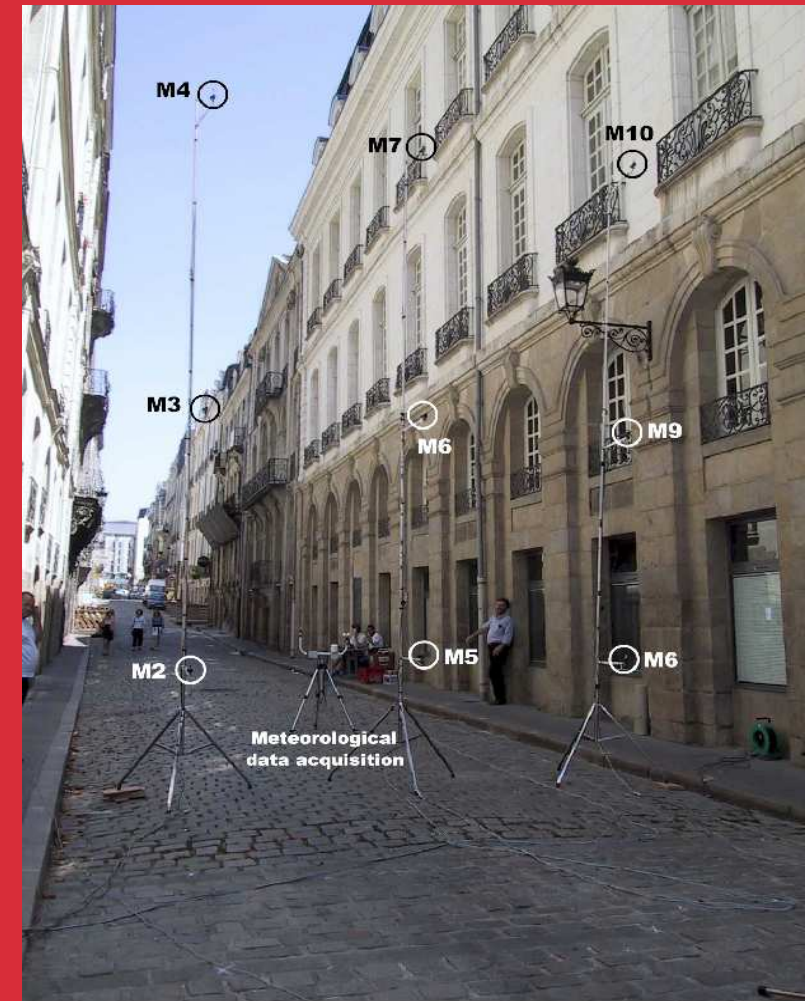
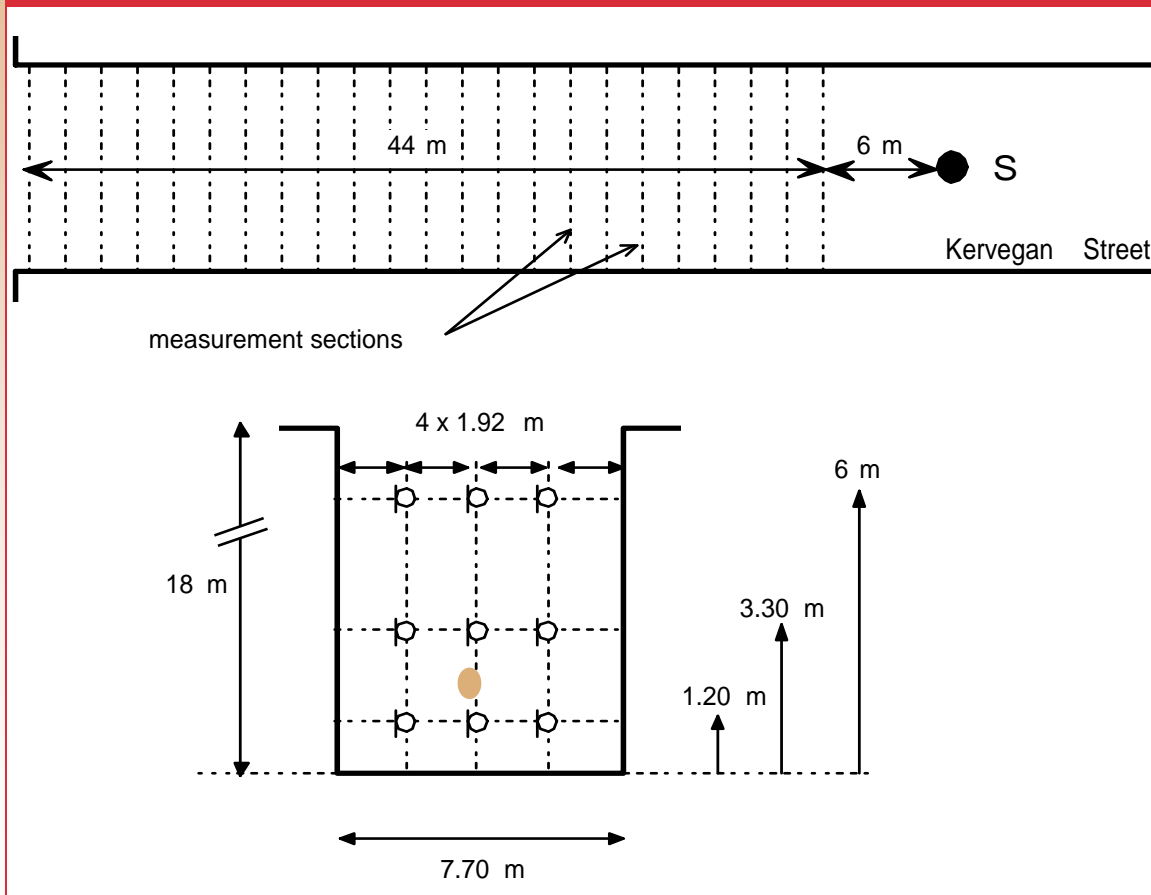


Excès d'atténuation dû à l'absorption atmosphérique  $(0,01 \text{ m}^{-1})$  pour  $h=18 \text{ m}$  : (o) SPPS, (---) modèle de diffusion.

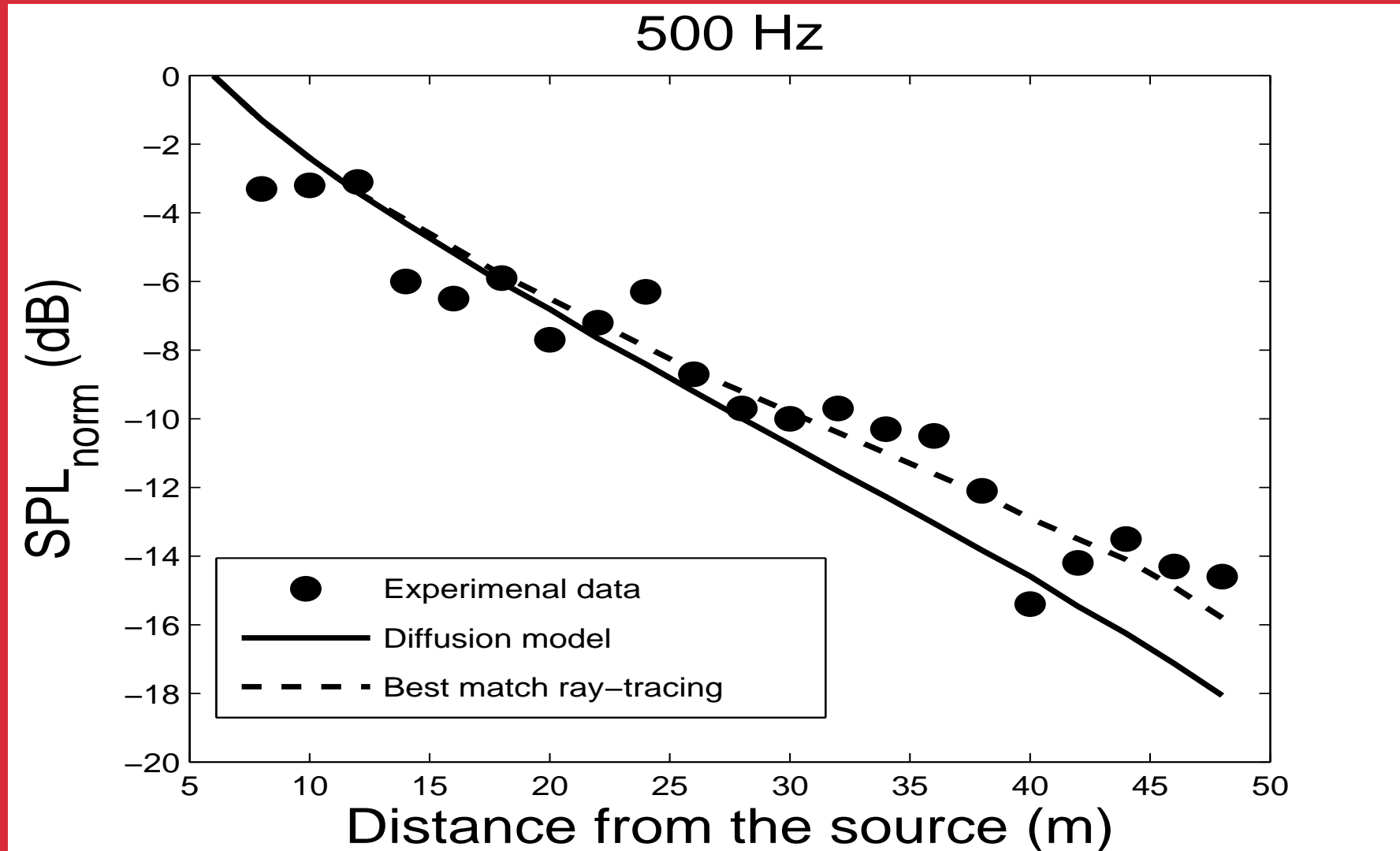
Faible accord, l'excès d'atténuation dépend du coefficient de diffusion des façades pour le modèle de diffusion.

# 5. Validation expérimentale

## Mesures rue de Kervégan [Picaut *et al.*, 2005]



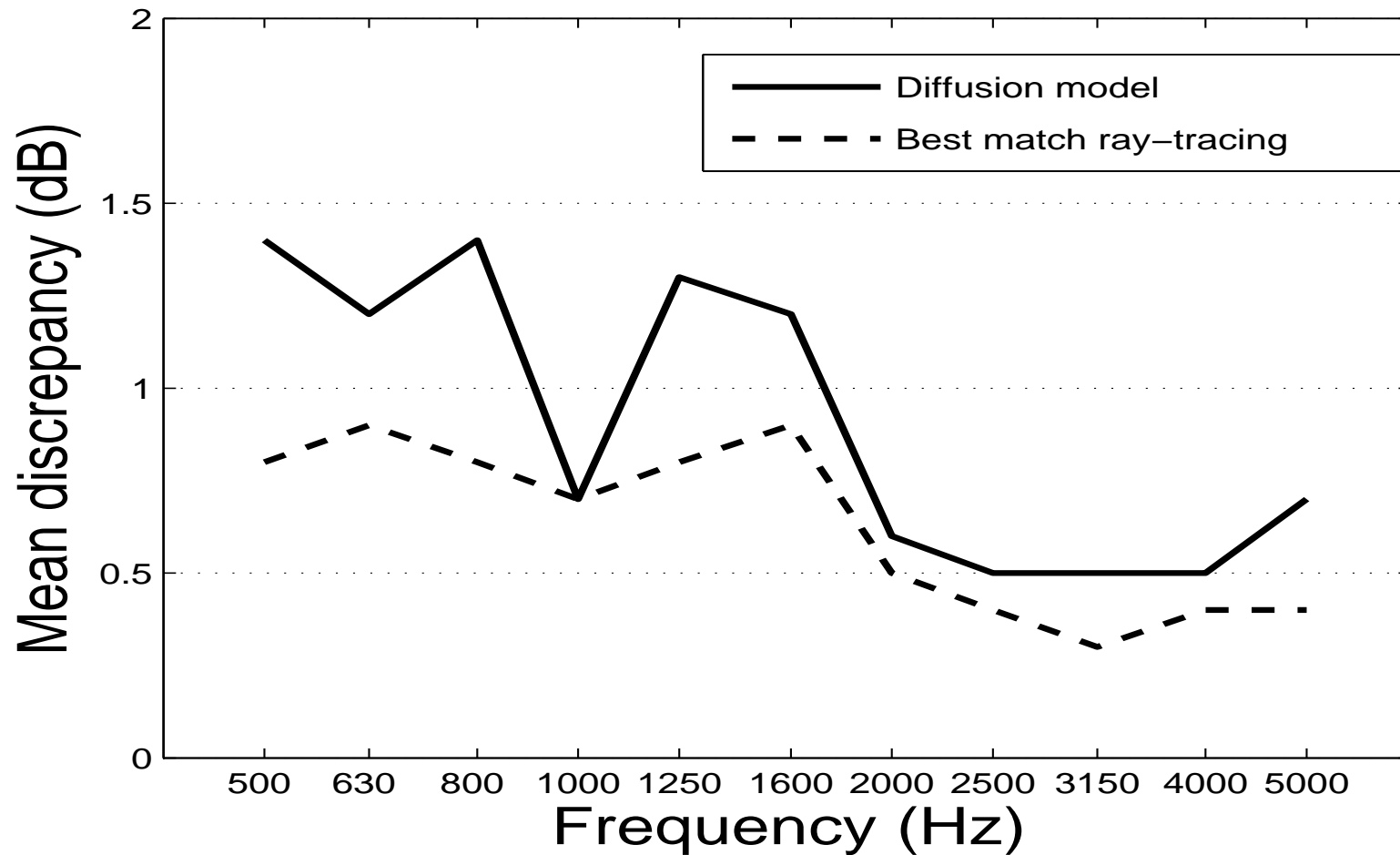
# 5. Validation expérimentale : SPL



Bonne accord même pour le cas le plus défavorable

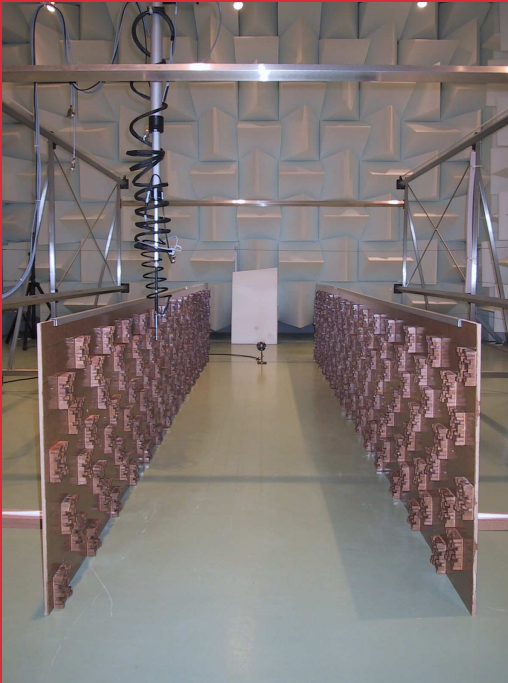


# 5. Validation expérimentale : SPL



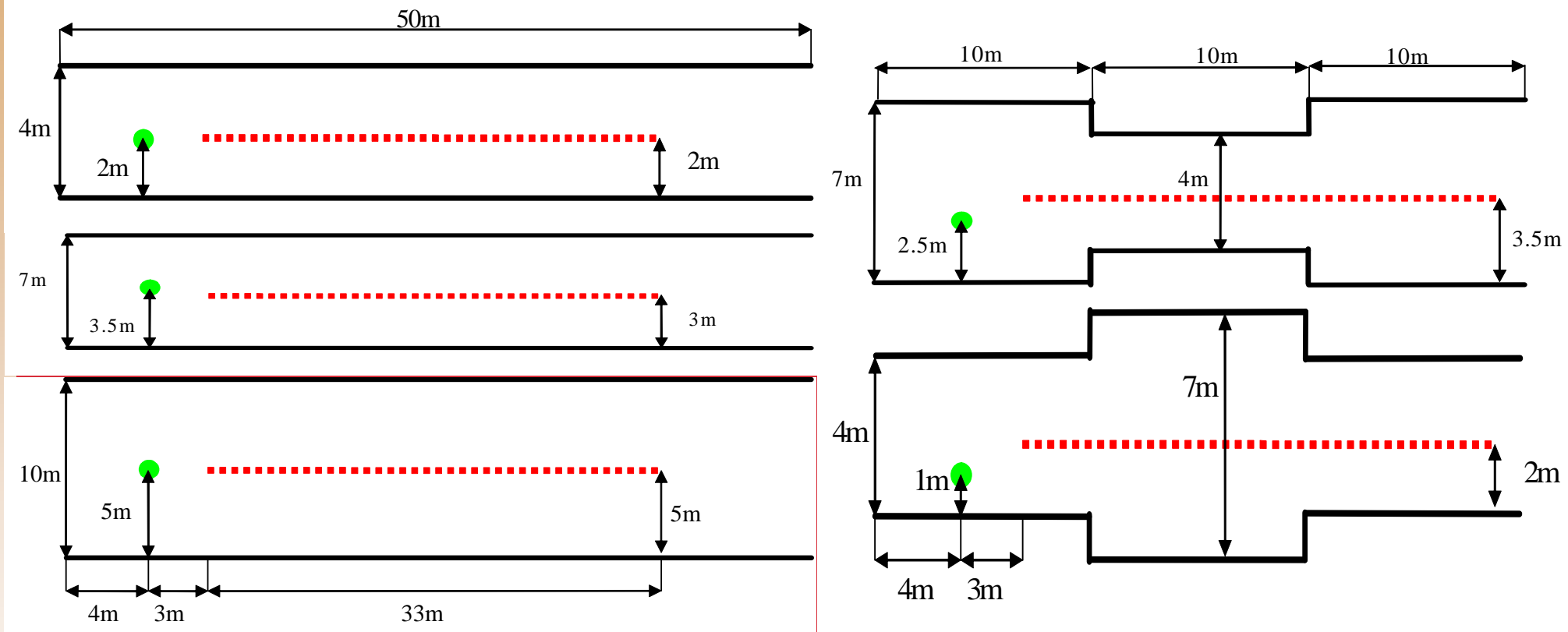
Bonne accord pour toutes bandes d'octave.

## 6. Validation expérimentale



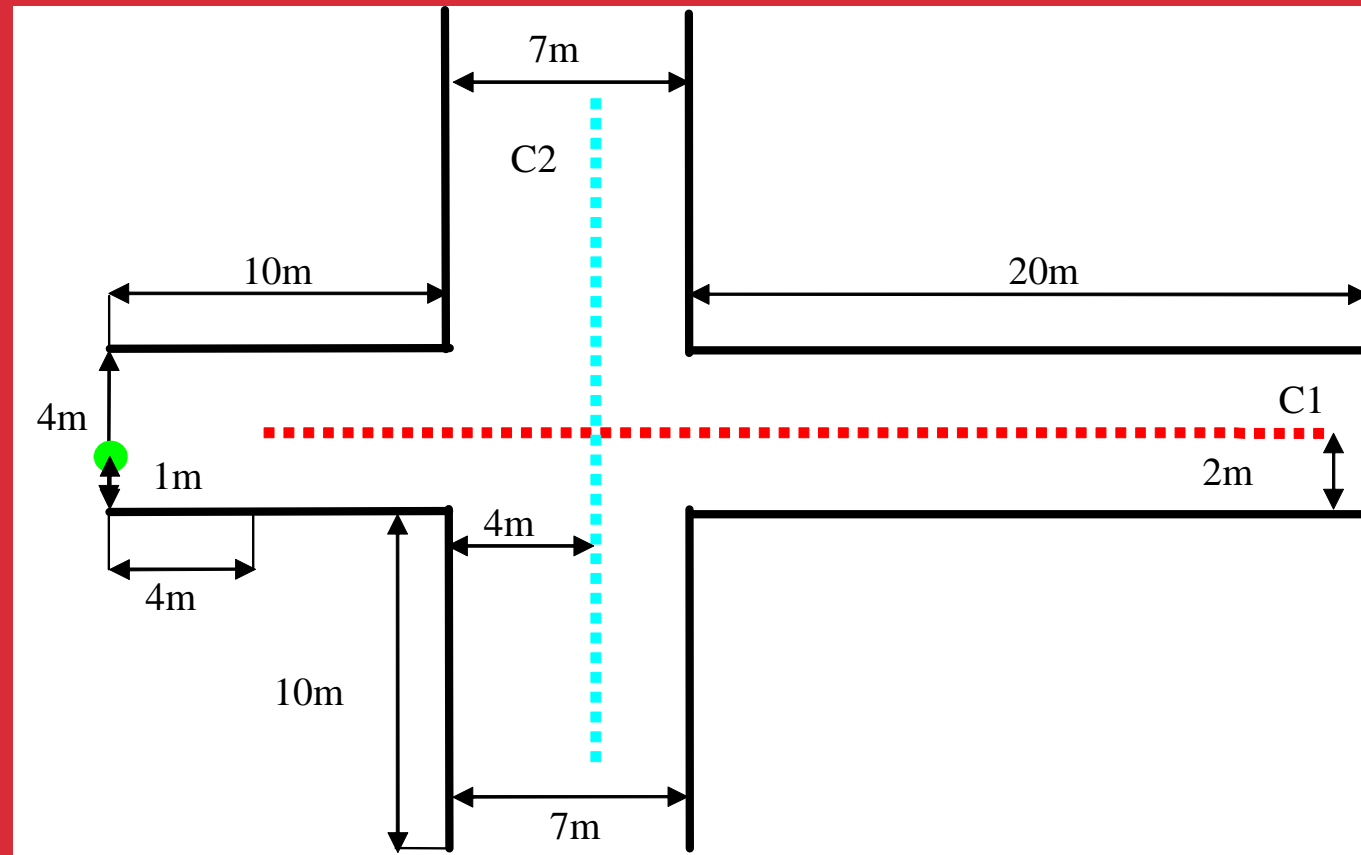
- Maquette 1/10<sup>ème</sup>
- Source sonore dodécaédrique Ø 65 mm
- Microphone ¼" champ libre
- Aggloméré vernis avec diffuseurs
- Mesures entre 100 Hz et 8 kHz (pleine échelle)
- Atténuation atmosphérique compensée
- Évaluation de SPL et RT10

# 6. Validation expérimentale



# 6. Validation expérimentale

## ■ Intersection



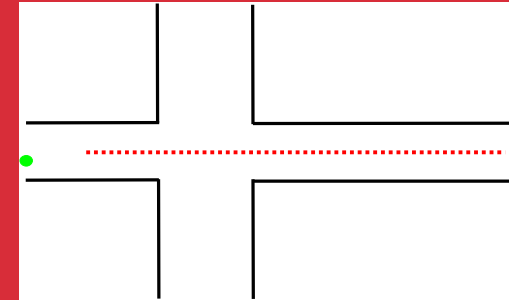
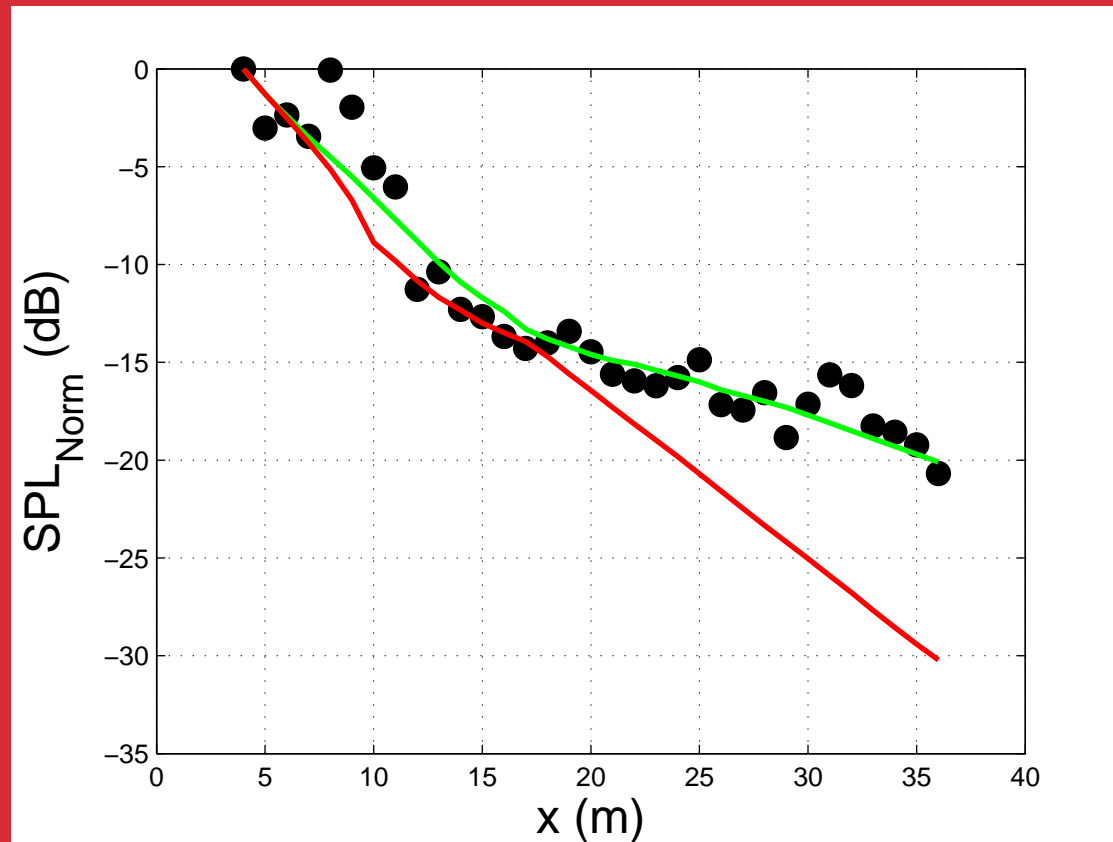
## 6. Validation expérimentale

- Tir de rayons Salrev
  - Ø 1 m récepteur sonore
  - $10^8$  rayons
  - Temps de calcul 1h~1h30
- Modèle de diffusion
  - $10^4$  éléments de Lagrange linéaires
  - Temps de calcul < 20 s
- Bande de tiers d'octave 630 Hz (pleine échelle)
- Conditions limites obtenus des configurations droites

	Configuration 1 (width 4m)	Configuration 2 (width 7m)	Configuration 3 (width 10m)
$\alpha$	0.16	0.07	0.02
$s$	0.55	0.5	0.65
Mean error on SPL	1.1 dB	1.0 dB	1.1 dB
Mean error on RT	6.0%	6.9%	8.8%

# 6. Validation expérimentale

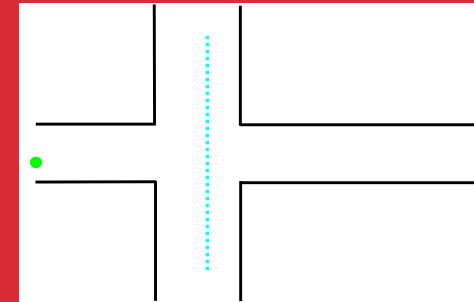
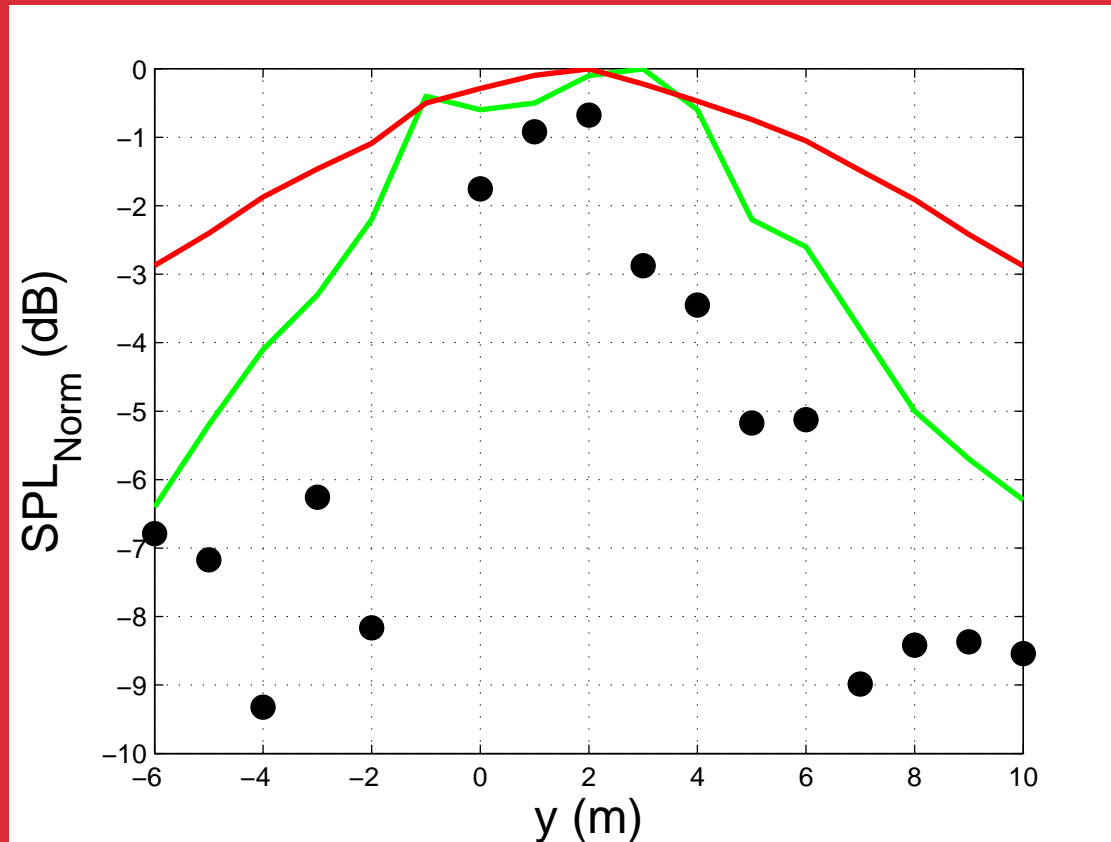
## ■ Intersection



- Le modèle de diffusion surestime l'atténuation sonore dans la dernière section

# 6. Validation expérimentale

## ■ Intersection



- Le modèle de diffusion surestime la fuite de l'énergie sonore par le croisement

## 7. Conclusions

- Développement du modèle de diffusion : absorption aux parois et l'atténuation atmosphérique
- Comparaisons numériques avec 2 logiciels de tirs de rayons
- Expériences sur maquette et in situ pour différentes configurations
- Bon accord pour des rues droites à sections variables ou constantes en termes de SPL
- Faible accord pour le temps de réverbération
- Faible accord pour l'atténuation atmosphérique
- Faible accord pour les croisements