

Acoustique des salles avec SoundPLANnoise : Méthodes, validation, workflow et applications

Société Suisse d'Acoustique, congrès d'automne 2023, Trafo Baden

Simulations acoustiques de locaux et de bâtiments - leurs possibilités et
leurs limites

22.11.2023

Stefan Weigand

SoundPLAN GmbH, Allemagne



Stefan Weigand

Acoustique des salles avec SoundPLANnoise : méthodes, validation, workflow & applications

Congrès d'automne 2023 de la SSA, Trafo Baden, CH

22.11.2023

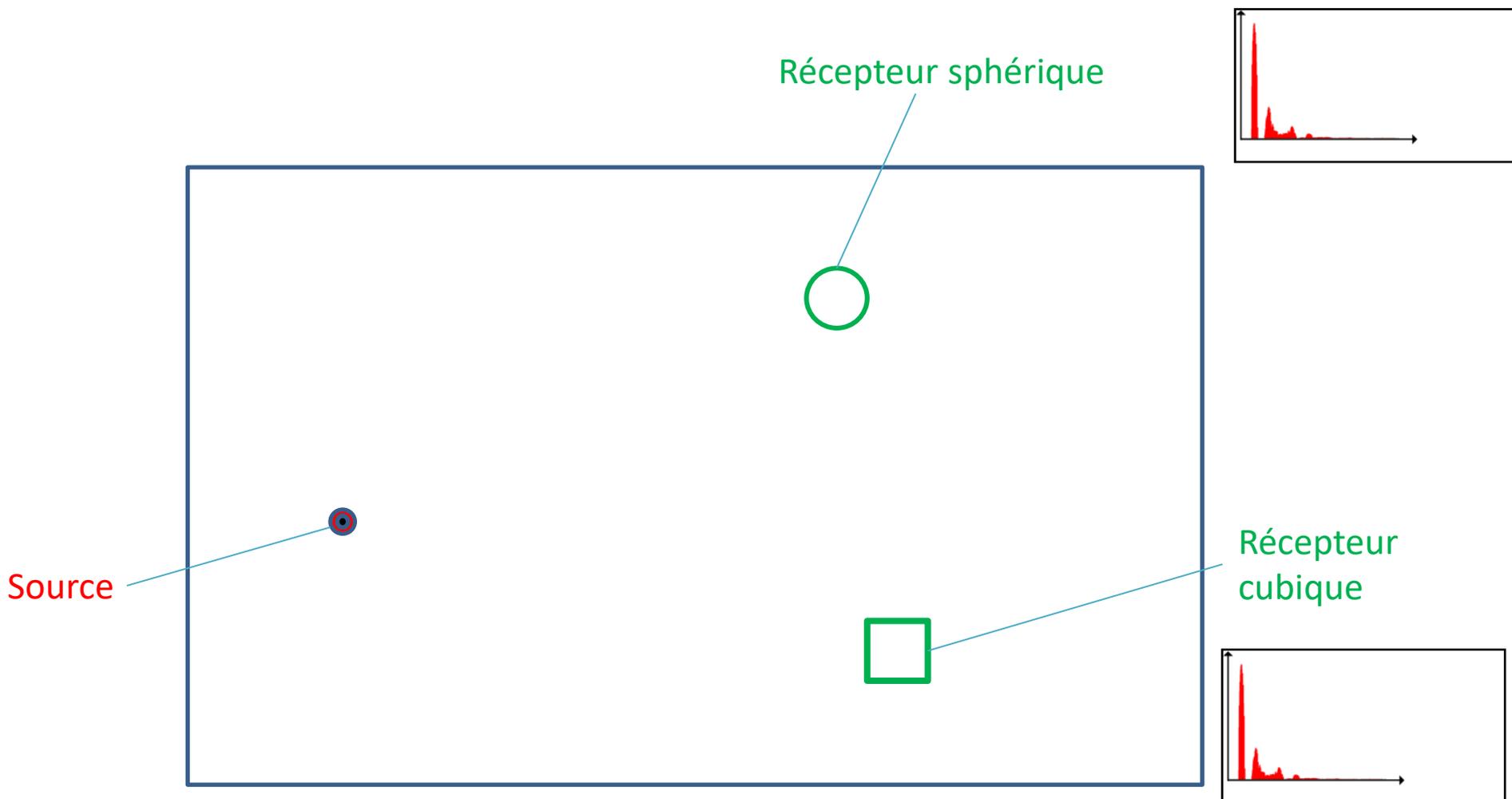
Table des matières

1. Les algorithmes : Une introduction rapide
2. Validation du logiciel : extraits essentiels
3. Ème flux de travail : du modèle au résultat
4. Des études de cas : Possibilités et limites
5. Résumé et perspectives

Comment fonctionnent la procédure et le calcul : un cours accéléré

1. LA MÉTHODE DES PARTICULES SONORES - UNE BRÈVE INTRODUCTION

1.1. Méthode des particules sonores sous forme d'animation



1.1 Principe de la méthode des particules sonores

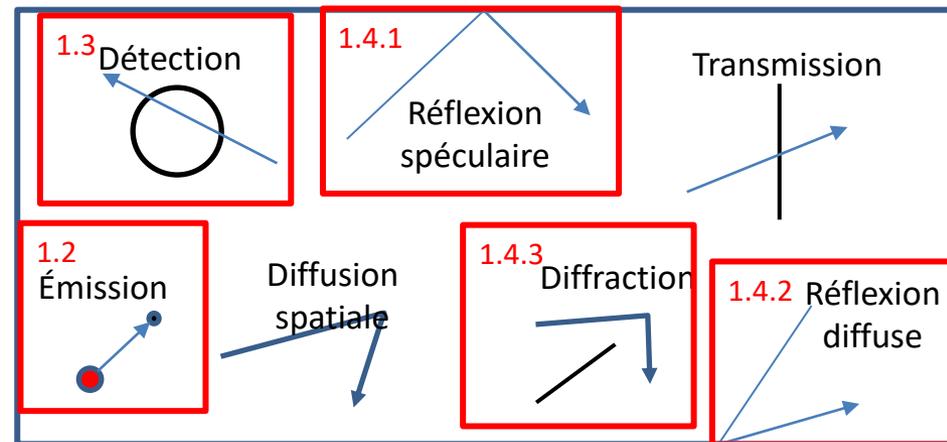
Sound Particle Diffraction est apparenté au Ray-Tracing (suivi des rayons)

Les particules sonores sont des vecteurs d'énergie qui "volent" à la vitesse du son sur des rayons rectilignes.

Les particules sonores représentent une partie du front d'onde plan

3 étapes :

- 1) Emission de particules sonores (source)
- 2) Suivi des particules sonores (propagation)
- 3) Détection de particules sonores (récepteur)



Le résultat est un échogramme d'intensité

1.2 La source de particules sonores

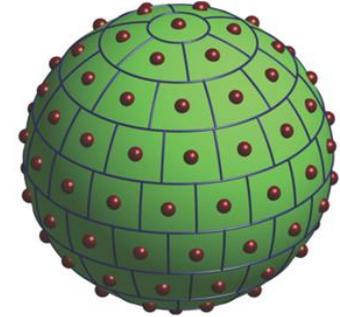
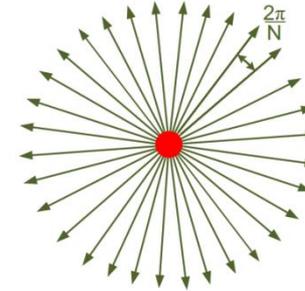
N émettent des particules sonores uniformément réparties

Répartir la puissance/l'énergie source en N "portions" de taille égale

La simulation peut être multi-fréquence ou séparée
se prête très bien à la parallélisation

Effets indicatifs réalisables :
Variation de l'énergie des particules dans un certain angle solide

Pratique : importation du CommonLoudspeakerFormat ou définition personnelle



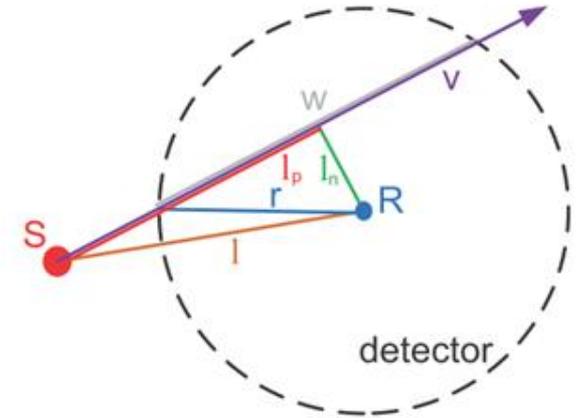
	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Sensitivity	77.3	81.2	84.8	88.0	90.6	92.5	92.3	90.6	92.1
Impedance	12.0	22.7	49.1	34.2	13.2	11.0	12.4	15.4	17.4
-5dB w. hor.	360	360	360	360	360	360	360	360	187
-5dB w. ver.	(360)	(360)	(360)	(360)	(360)	(360)	360	360	193
Axial DI	(0.6)	(0.7)	(0.6)	(0.8)	(0.9)	(1.2)	1.6	2.9	4.0
Ax. Spect.	77.3	81.2	84.8	88.0	90.6	92.5	92.3	90.6	92.1

1.3 Détection

Détection dans des récepteurs spatialement étendus

$$I = \frac{P}{N \cdot V_D} \sum_{i=1}^{N_0} e_i \cdot w_i,$$

Puissance source P
 Nombre de dét. Particules N_0
 perte d'énergie d'une particule depuis son émission e_i
 Nombre de particules émises N
 Volume du détecteur V_D
 Parcours de traversée w_i

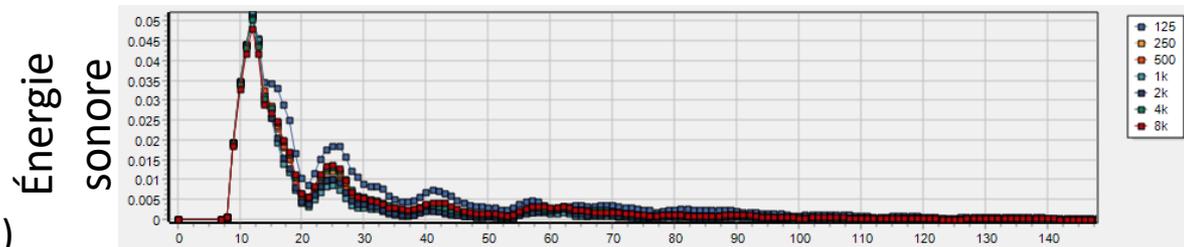


Prise en compte de la distance de traversée w

➤ **Forme du destinataire non pertinente**

Typique :

- Récepteur de balles
- Récepteur cubique (grille)



1.4.1 Propagation des particules : réflexion spéculaire

Réflexion sur les murs selon la loi de réflexion (Snellius)

Valable pour les murs qui

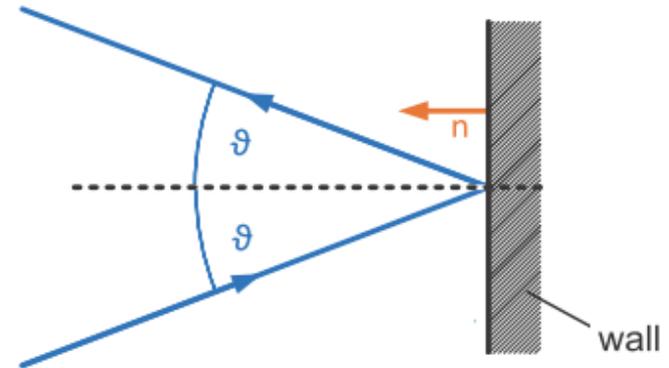
- 1) infiniment étendu
- 2) sont suffisamment lisses

de l'énergie :

- Prise en compte de l'absorption d'air
- Prise en compte du degré de réflexion

Coefficient d'absorption de l'air (de f)

$$e^{-mr} \cdot (1 - \alpha)$$



direction :

$$\vec{v}_r = \vec{v}_i - 2 (\vec{v}_i \circ \vec{n}) \cdot \vec{n},$$

1.4.2 Propagation des particules : réflexion diffusante

Courbe de directivité de l'énergie diffusée généralement très complexe et dépendant de la fréquence

Surface décrite par le degré de dispersion s

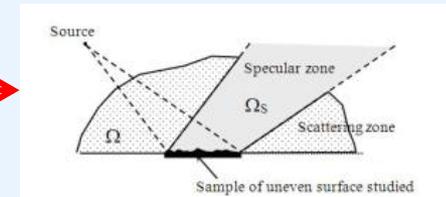
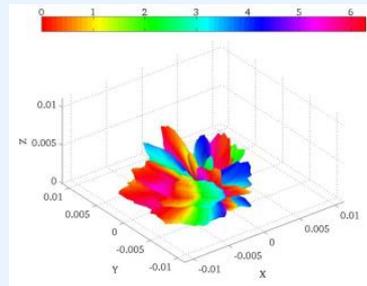
$$s(f) = 1 - \frac{E_{spec}}{E_{refl}} = \frac{E_{scat}}{E_{refl}}$$

Bonne approximation générale :
Loi de Lambert

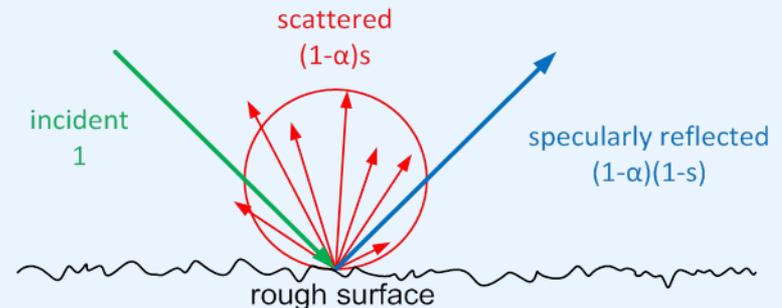
Mise en œuvre numérique :

1. Comparaison du taux de dispersion avec le nombre aléatoire :
2. Direction de la particule sonore diffusée : distribution aléatoire selon la loi de Lambert

Modélisation de la dispersion selon Lambert

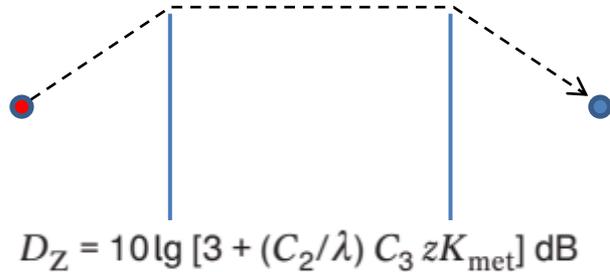


$$W'(\delta) = \frac{dW}{d\Omega} = \frac{\cos \delta}{\pi}$$



1.4.3 Diffraction dans le cadre des procédures énergétiques

Détour Méthodes comme dans ISO 9613-2



- A partir des recherches de Maekawa (1968)
- Mesure d'isolation d'insertion en fonction du détour par rapport à la longueur d'onde
- Autre formule pour la diffraction
- Pas de *changement de dire*
- Pas d'influence "en cours d"

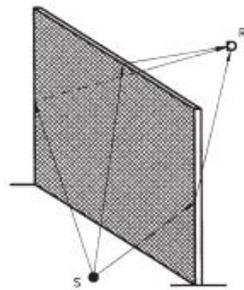
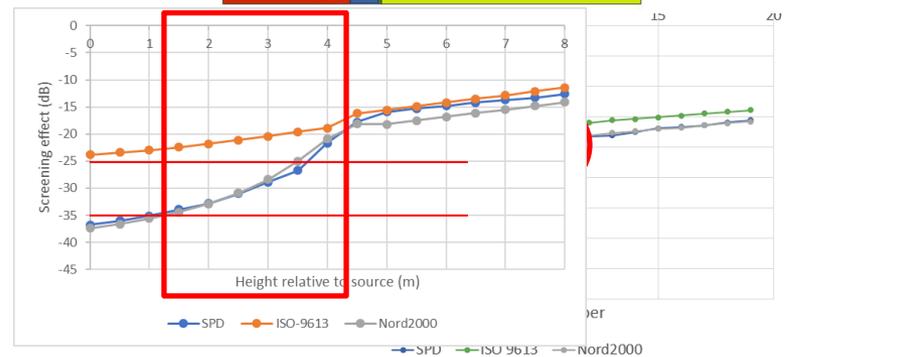
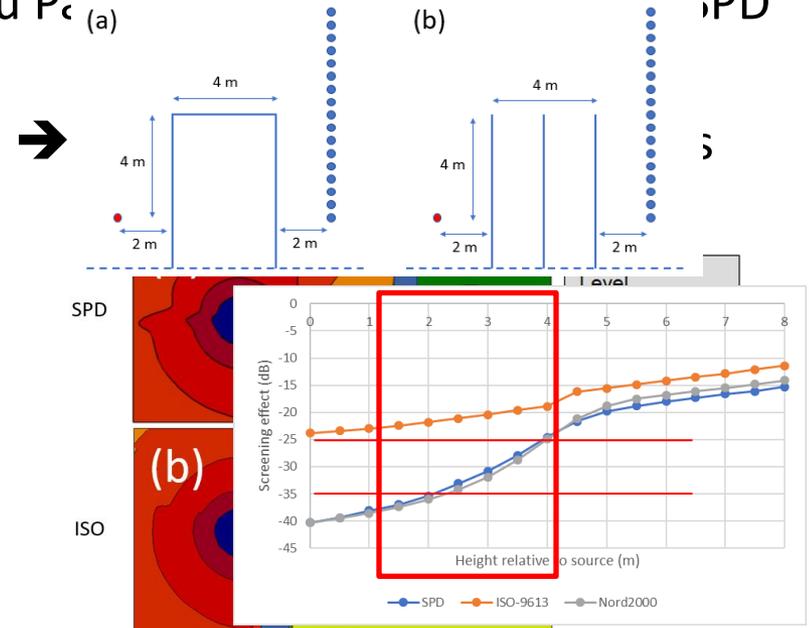


Bild 5: Verschiedene Schallausbreitungswege an einem Schirm

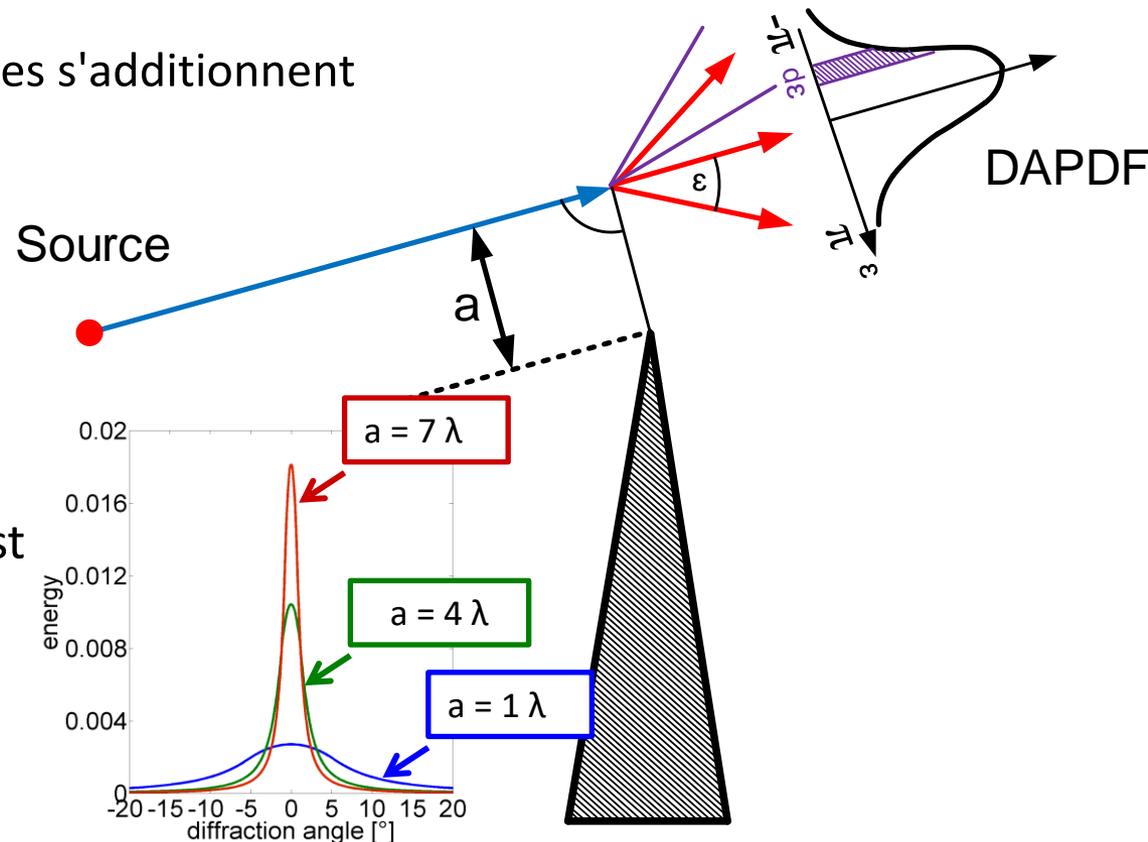
Flou P_z (a) (b) SPD



1.4.4 Diffraction des particules sonores : Idée générale

- Plus une particule sonore "passe" près d'un bord, plus le flou directionnel est important et donc plus la déviation est grande (angle de diffraction plus grand).
- les bords ont une "force de diffraction" (edge diffraction strength, EDS)
- Les épaisseurs de plusieurs arêtes s'additionnent

1. La distance d'approche des bords a est réinterprétée en une "largeur de fente effective" b
2. La fonction de distribution est dérivée de la diffraction de Fraunhofer sur la fente

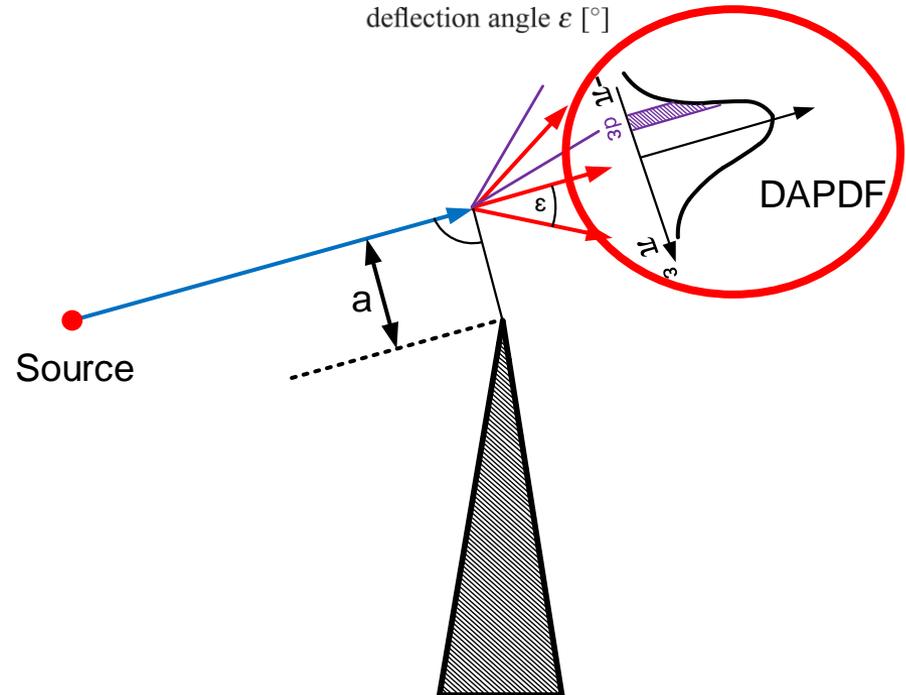
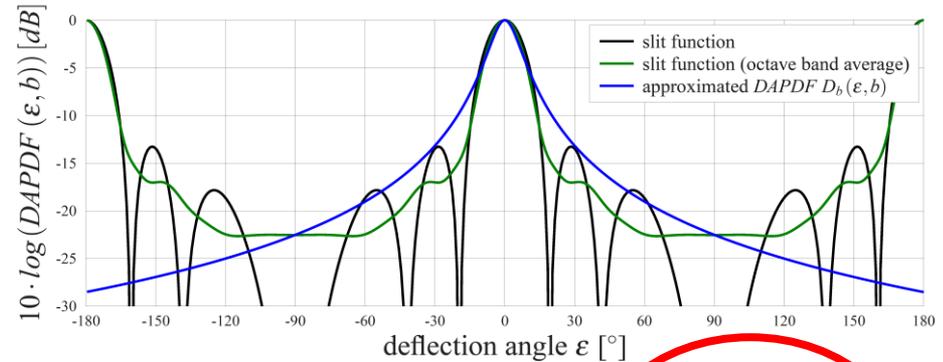


1.4.4 Fonction de l'angle de déviation (densité de probabilité)

Fonction de densité probabiliste d'angle de diffraction (DAPDF) :

diffraction selon la transformée de Fourier de la fonction d'ouverture, soit la fente de largeur

- Bande d'octave moyennée



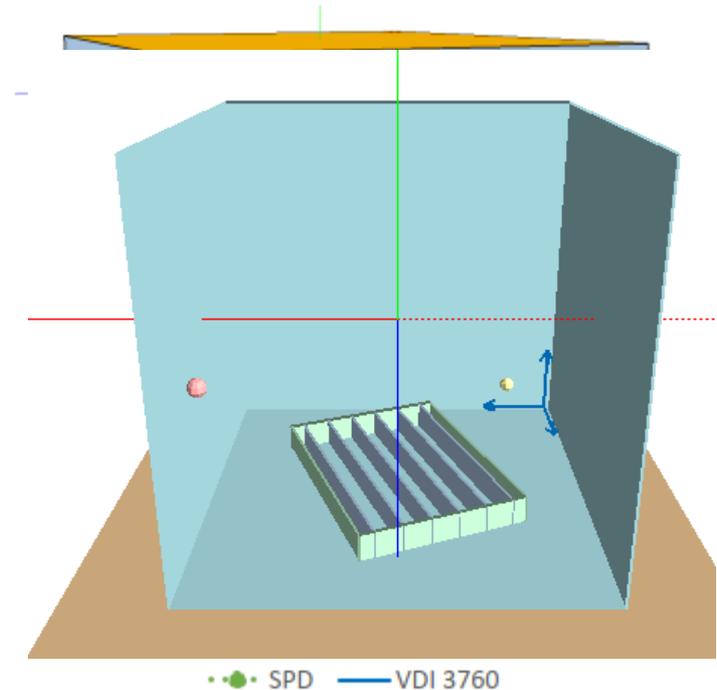
Pourquoi avons-nous confiance en notre procédure ? Comment l'avons-nous validée ? Quelles sont les limites ?

2. VALIDATION DU LOGICIEL : EXTRAITS ESSENTIELS

2.0 Aperçu de la validation

Quelle validation avons-nous déjà effectuée ?

- ✓ Émission de la source (isotropie)
- ✓ Calcul du champ libre
- ✓ Espace de semi-liberté
- ✓ Espace plat selon VDI 3760
- ✓ Niveau et réverbération dans la salle de réverbération
- ✓ Absorption dans la chambre réverbérante
- ✓ Espaces couplés
- ✓ Diffraction ←

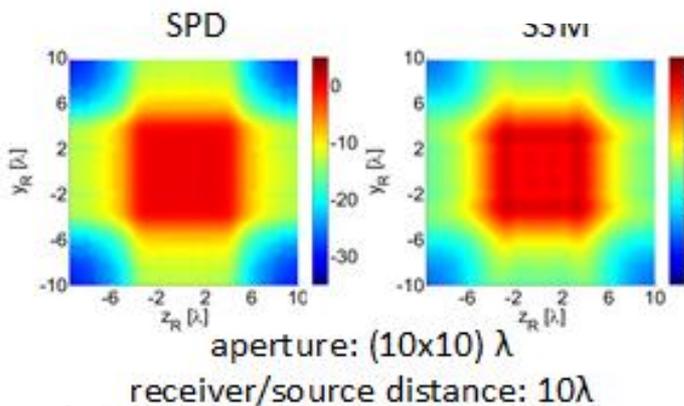


2.1 Motivation et introduction

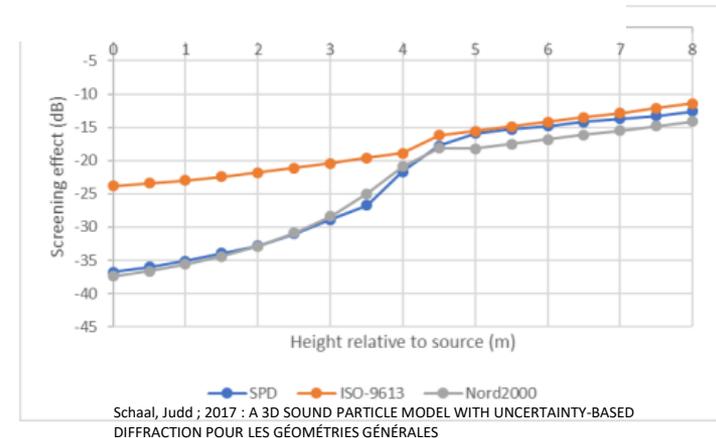
Objectif : validation de la diffraction des particules sonores (SPD)

Question clé : Comment vérifier les résultats ?

Comment savoir si *c'est mieux autrement* ?



es ont des limites
res.
ous-jacentes



Pohl, Stephenson ; 2014 : Extension de la relation d'incertitude basée sur
Diffraction vers des trous polygonaux

Stefan Weigand

Acoustique des salles avec SoundPLANnoise : méthodes, validation, workflow & applications

Congrès d'automne 2023 de la SSA, Trafo Baden, CH

2.1.1 Objectifs et méthodologie de la validation des mesures

Taille cible :

Perte d'insertion (IL, Insertion loss) :

$$IL = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{E_{with\ screen}}{E_{without\ screen}} \right) = L_{J,with} - L_{J,without}$$

Comparaison entre les simulations avec SoundPLANnoise SPD et les mesures

- Chaque mesure doit être faite deux fois pour chaque scénario :
 1. Avec des superstructures en parapluie
 2. Sans superstructure d'écran
- Conditions de mesure contrôlées (espace de demi-champ libre)
- Entrée unique sortie multiple (SIMO) :
1 position source \longrightarrow 31 positions récepteur
- Procédure identique pour les simulations
- **Plusieurs scénarios avec différents :**
Largeurs, hauteurs, formes et nombre de parasols
- Varie l'absorption du sol & de l'écran :
- Varie la position source (hauteur & placement)
- Traitement du signal :

Avec parapluie



Sans parapluie



$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ L_{I,with,i} & i = 1 \dots 31 & L_{I,without,i} \\ & \searrow \quad \swarrow & \\ & IL_i = L_{J,with,i} - L_{J,without,i} & \end{array}$$

2.1.2 Mise en place et réalisation de l'expérience : Mesures et simulation

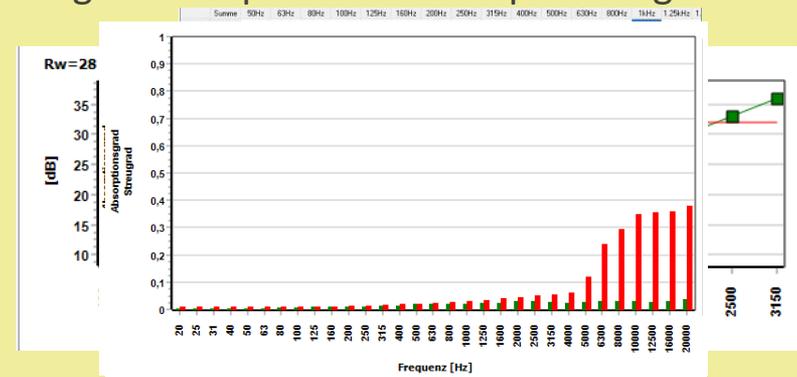
Mesure : structure et déroulement

- Mesures dans le Semi-RAR de l'ITA, RWTH Aachen ¹
 - champ semi-libre au-dessus de 150 Hz environ
- Structure des écrans modulaires en MDF de 25mm $m' = 18,56 \text{ kg/m}^2$.
- Dimensions d'un module d'écran : 1,38m x 1,50m
- Mesures effectuées par SIMO : 31 récepteurs par source,
 - Regroupé en 4 réseaux de microphones (colonnes A à D)
 - Distance entre les microphones dans le réseau : 25cm
- Mesure de la réponse impulsionnelle par balayage (sweep)
- Chaque mesure est calculée en moyenne sur 4 sweeps
- Source : Genelec 8020c
- récepteur : capsules Sennheiser KE4, réponse en fréquence égalisée, calibrée
- Evaluation à l'aide de l'ITA toolbox et de routines Matlab personnelles

¹ Merci à Lukas Aspöck & Jonas Stienen

Simulation : modélisation et déroulement

- Simulation avec SoundPLANnoise SPD
- Données d'absorption à partir de mesures d'impédance-tube
- Transmission des panneaux MDF par la loi de masse
- Prise en compte de la directivité de la source avec une résolution de 5°.
- Parois du Semi-RAR modélisées comme des absorbeurs idéaux
- Degré de dispersion estimé par la rugosité



2.1.4 Méthodologie

Différences systématiques et causes d'erreurs

Différences systématiques

Mesure

- Mesures des valeurs de pression dans le champ d'ondes $p(t,)$

- Récepteur de pression

addition cohérente d'amplitudes (interférence)

- Mesure en un point
- Espace de mesure réel, champ libre approximatif seulement (réflexions/modes)

Simulation

- Simulation avec des particules sonores

- Récepteur d'énergie

addition d'énergie incohérente

- Récepteur à bille étendu
- Champ libre idéal grâce à un absorbeur idéal

Certains effets (d'ondes) ne sont pas représentés dans la simulation

Causes des écarts

- Différences systématiques (effets d'ondes : interférences)
- Incertitudes sur la reproductibilité entre les mesures de diffraction et de référence
- Différences entre la modélisation et le dispositif expérimental réel
 - Points de localisation/coordonnées
 - Caractéristiques de la source
 - Degrés d'absorption et de transmission
 - Influence des éléments perturbateurs tels que les trépieds
- Effets de résonance dans les écrans MDF
- La diffraction lors de la simulation dépend entre autres de la distance de passage en longueurs d'onde, celles-ci dépendent de la température lors des mesures.

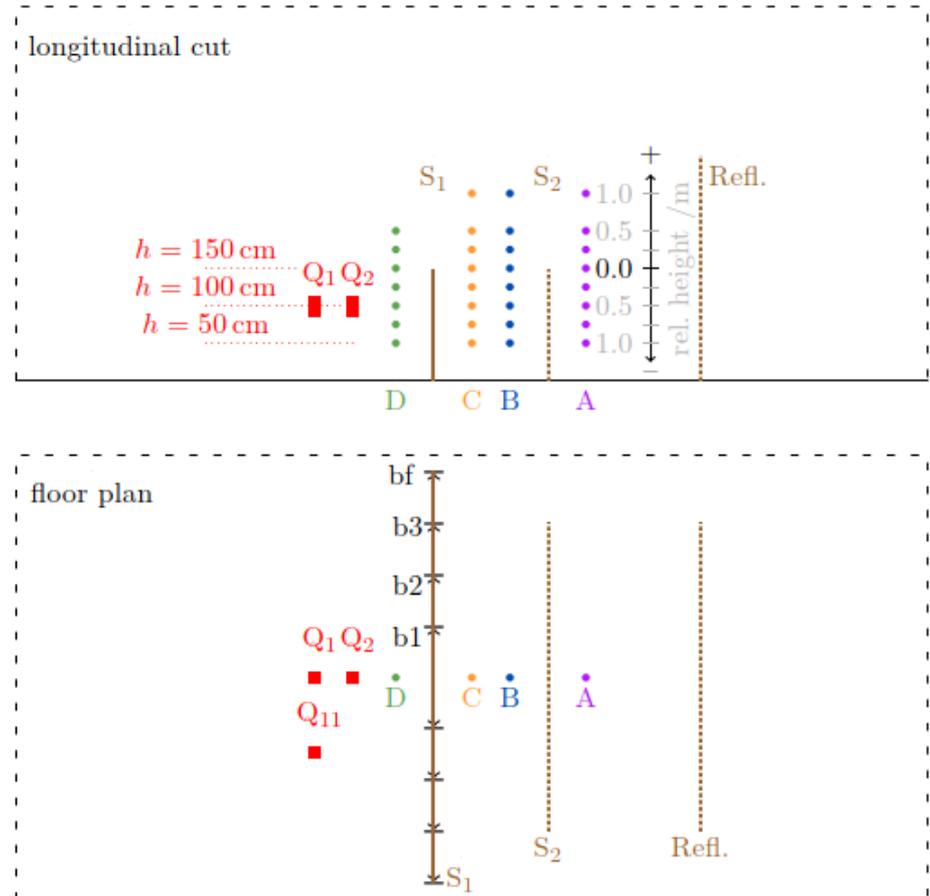
Intervalle de confiance des mesures : $< \pm 0,7$ dB

Intervalle de confiance des simulations : $\approx \pm 0,6$ dB

2.2 Résultats de la comparaison mesure / simulation

Aperçu général : Choix des scénarios et motivation

- 30 scénarios, chacun avec jusqu'à 12 positions sources (28 Go de données)



2.2.1 Résultats de la comparaison mesure / simulation

Écran unique sans réflexion sur le sol

- 30 scénarios, chacun avec jusqu'à 12 positions sources (28 Go de données)
- Sélection pour cette présentation :
 - Focalisation sur des scénarios montrant que SPD est capable de traiter les effets de diffraction pertinents

– Scénarios à écran unique

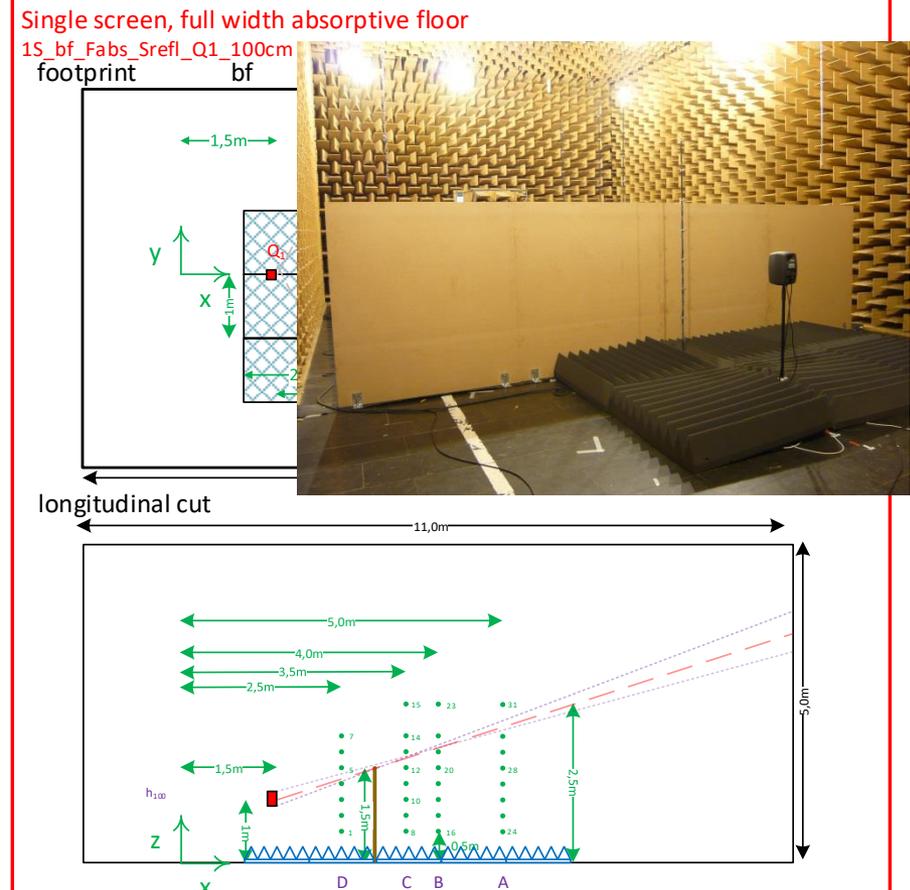
- Avec ou **sans réflexion sur le sol**

– Scénarios à double écran

- Avec ou sans réflexion sur le sol

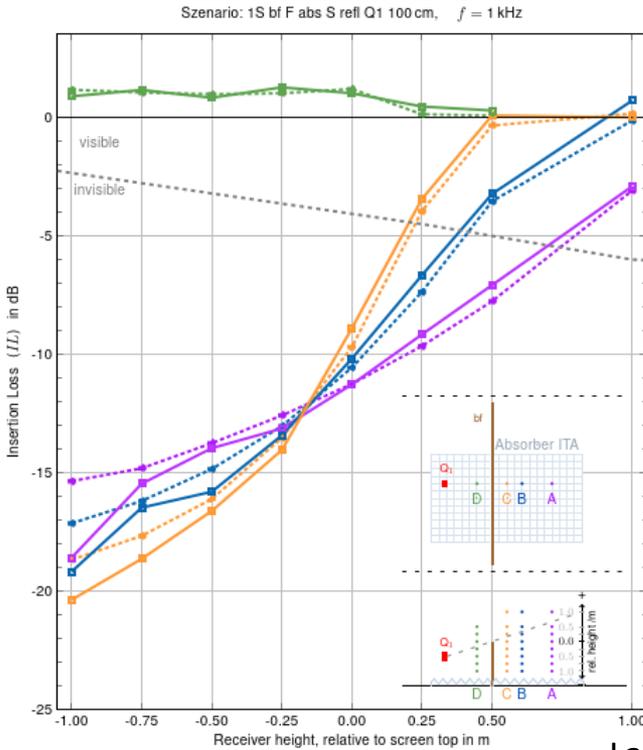
– Scénarios plus complexes

- Écran devant le mur
- "Parapluies "en zigzag

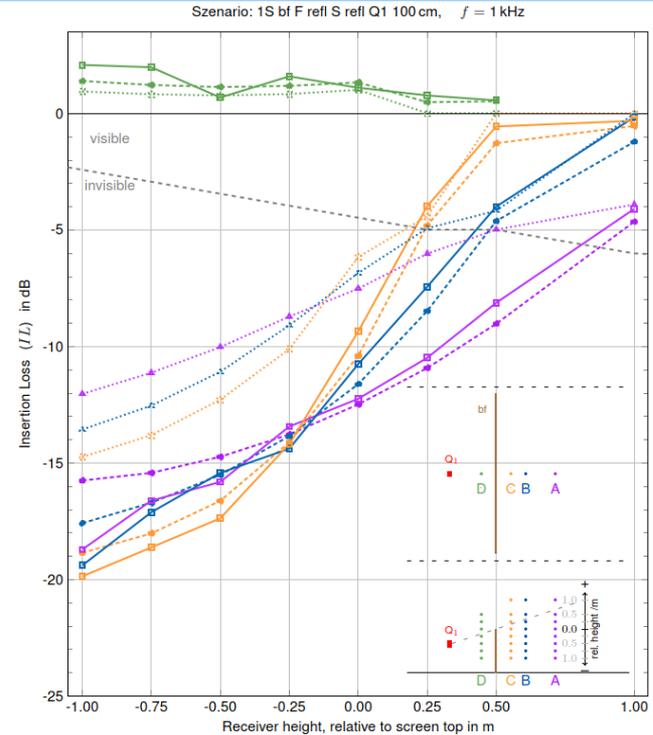


2.2.1 Comparaison des résultats mesure / simulation

Ecran unique, pleine largeur **sans/avec réfl. sur le sol ?**



$f = 1$ kHz



Largeur bf : 5,52 m $\approx 16 \lambda$

Résultats :

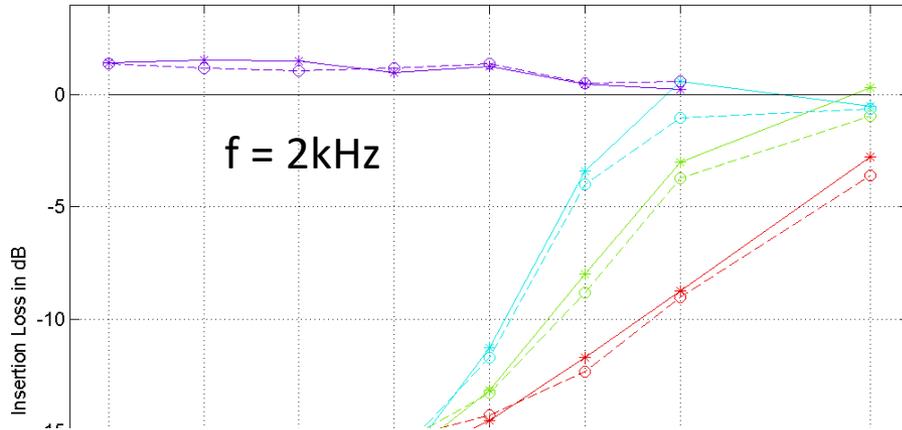
- Les simulations peuvent reproduire qualitativement et quantitativement les résultats des mesures
- La diffraction avec et sans réflexion sur le sol est représentée
- Les simulations tendent à montrer que l'indice d'insertion est surestimer le nombre d'appareils : $IL_{sim} < IL_{meas}$, sauf si le réfl. abs.

Column A		Column B		Column C		Column D		A - D
max [dB]	avg [dB]	avg [dB]						
-1.09	0.66	1.20	0.80	1.38	0.72	1.93	1.03	0.82
-3.02	-0.51	-1.94	-0.21	-1.90	-0.27	0.37	0.04	-0.25

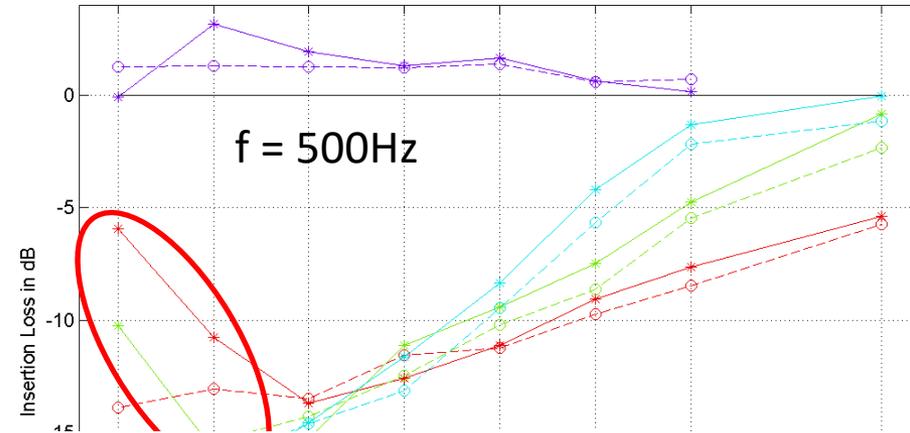
2.2.1 Comparaison des résultats mesure/simulation

Une petite digression sur d'autres fréquences

Szenario 1S_bf_Frefl_Srefl_Q1_100cm Frequency: 2000Hz (Band 7/10)
4 mic array columns.

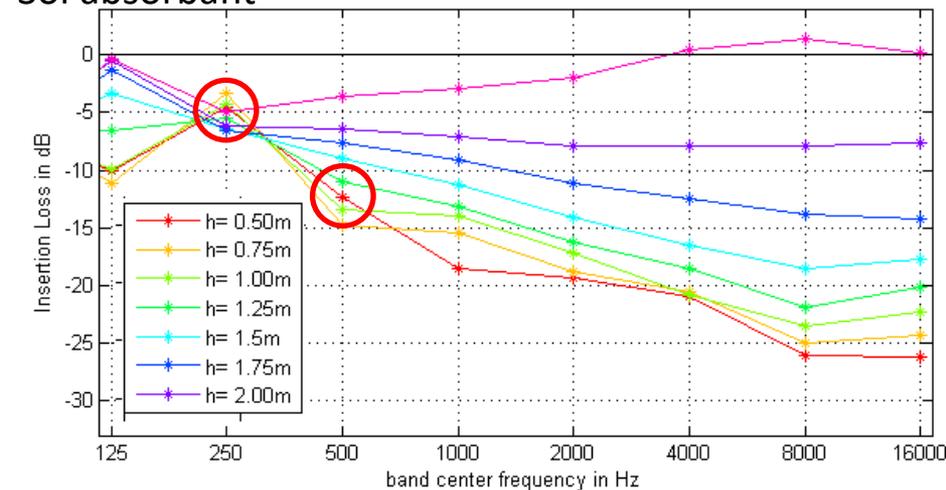


Szenario 1S_bf_Frefl_Srefl_Q1_100cm Frequency: 500Hz (Band 5/10)
4 mic array columns.



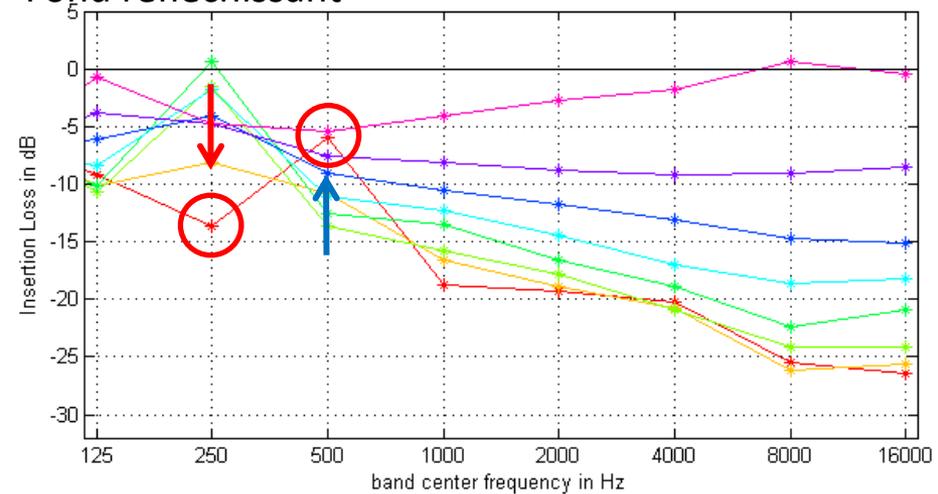
Szenario 1S_bf_Fabs_Srefl_Q1_100cm : micarray: A.
In 1-octave bands

Sol absorbant



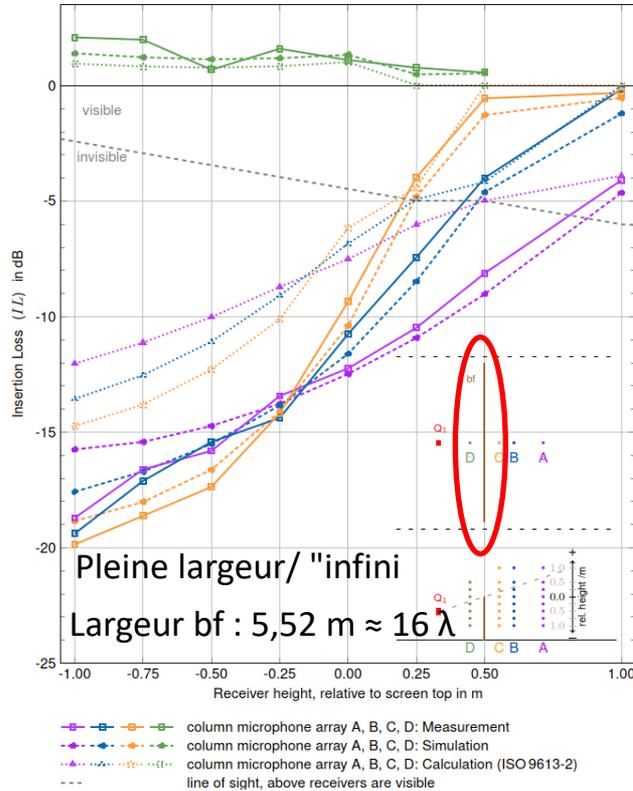
Szenario 1S_bf_Frefl_Srefl_Q1_100cm : micarray: A.
In 1-octave bands

Fond réfléchissant



2.2.1 Comparaison des résultats de mesure et de sim. Digression sur d'autres largeurs d'écran, réfl. sur le sol

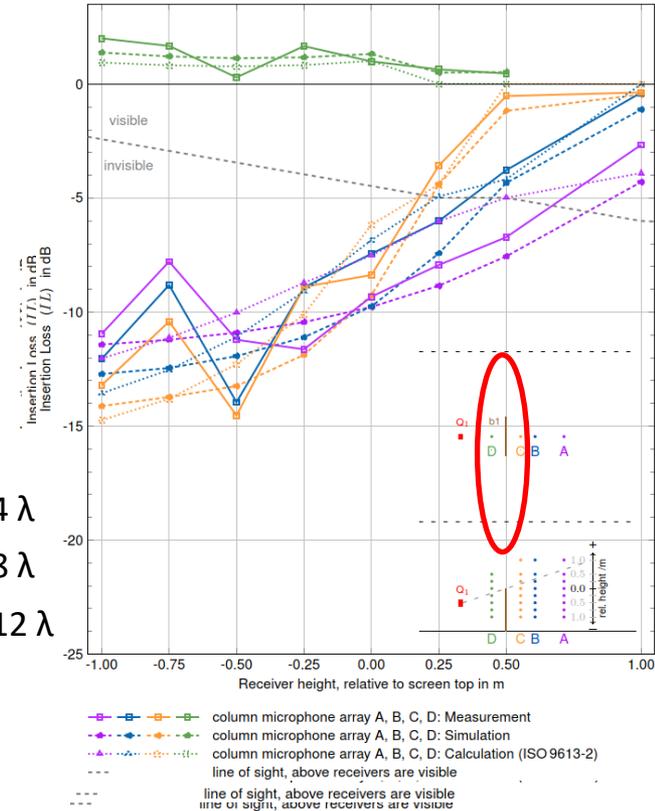
Scenario: 1S bf F refl S refl Q1 100 cm, $f = 1$ kHz



$f = 1$ kHz

Largeur b1 : 1,38 m $\approx 4 \lambda$
Largeur b2 : 2,76 m $\approx 8 \lambda$
Largeur b3 : 4,14 m $\approx 12 \lambda$

Scenario: 1S b1 F refl S refl Q1 100 cm, $f = 1$ kHz

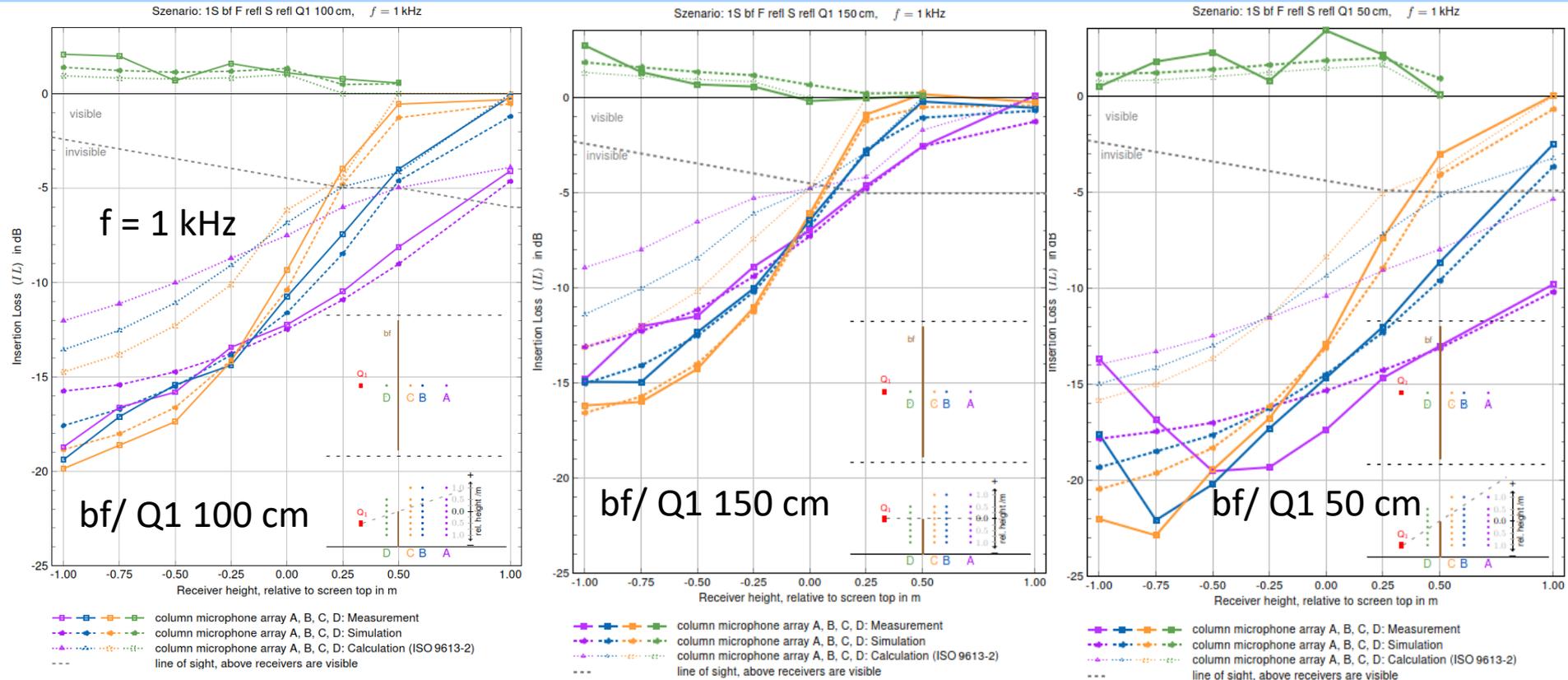


Résultats :

- SPD peut également représenter correctement des largeurs d'écran finies, ce qui est important pour le monde réel : p. ex. les bureaux en open space, etc.

2.2.1 Comparaison des résultats de mesure et de sim.

Digression sur d'autres positions sources, av. réfl. sur le sol



Résultats :

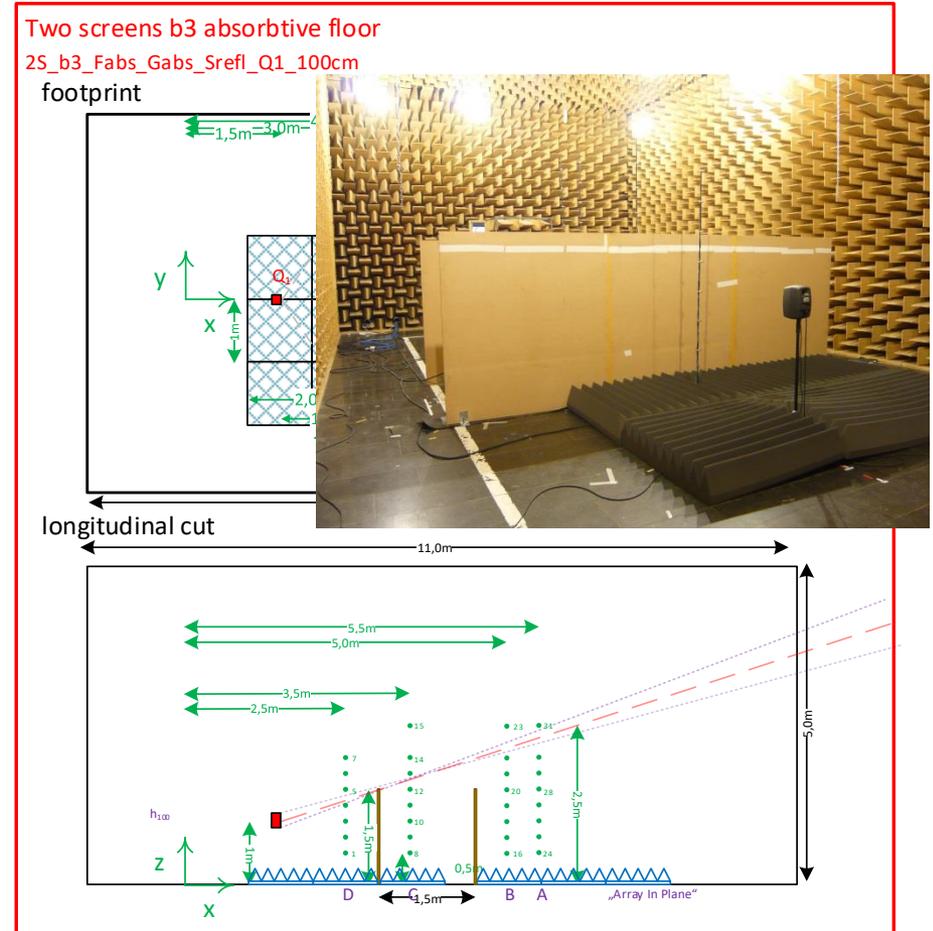
Largeur bf : 5,52 m $\approx 16 \lambda$

- Le procédé SPD s'adapte à la largeur de bande des positions sources (différentes hauteurs), comme dans la vie réelle.
- Pour certaines positions de source et de réception (près du sol), écarts plus importants

2.2.2 Comparaison des résultats mesure/ simulation

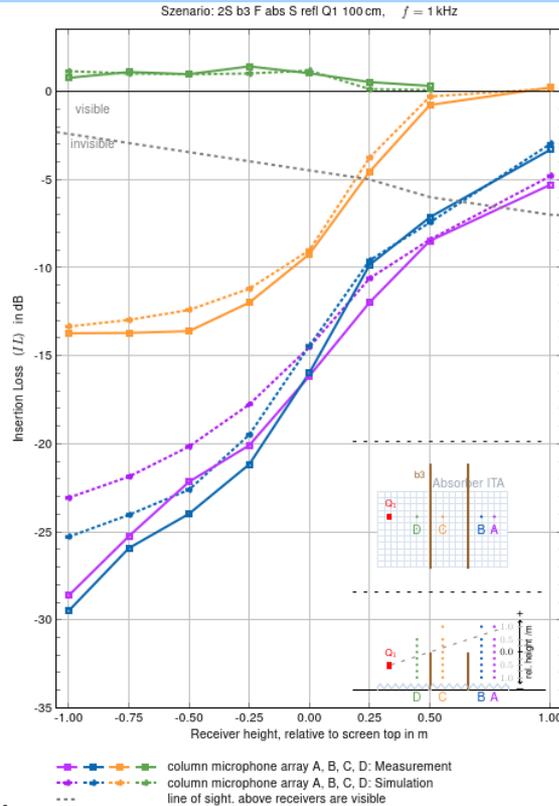
Double écran, largeur b3, avec/sans réflexions sur le sol

- 30 scénarios, chacun avec jusqu'à 12 positions sources (28 Go de données)
- Sélection pour cette présentation :
 - Focalisation sur des scénarios montrant que SPD est capable de traiter les effets de diffraction pertinents
 - Scénarios à écran unique
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
 - **Scénarios à double écran**
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
 - Des scénarios plus complexes
 - Écran devant le mur
 - Parapluie M
 - "Parapluies "en zigzag

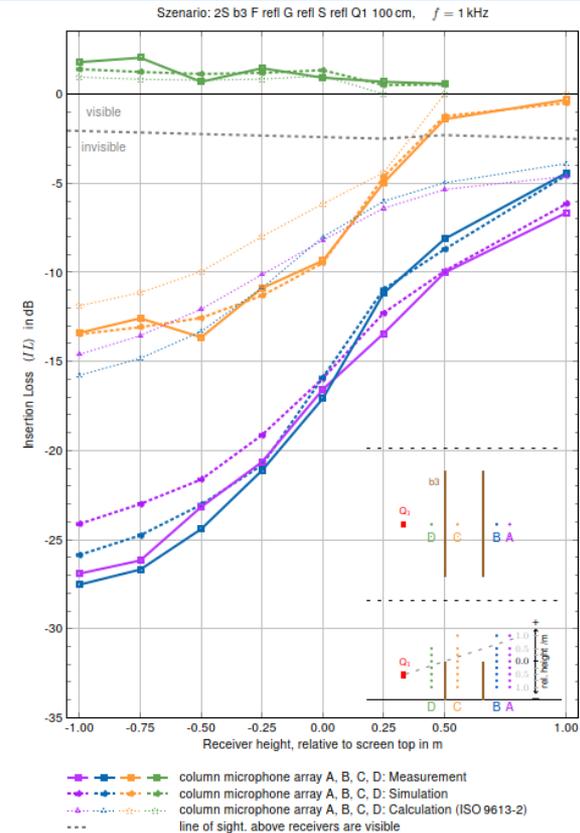


2.2.2 Comparaison des résultats de mesure et de sim.

Double écran, largeur b3, sans et avec réflexion sur le sol



$f = 1$ kHz



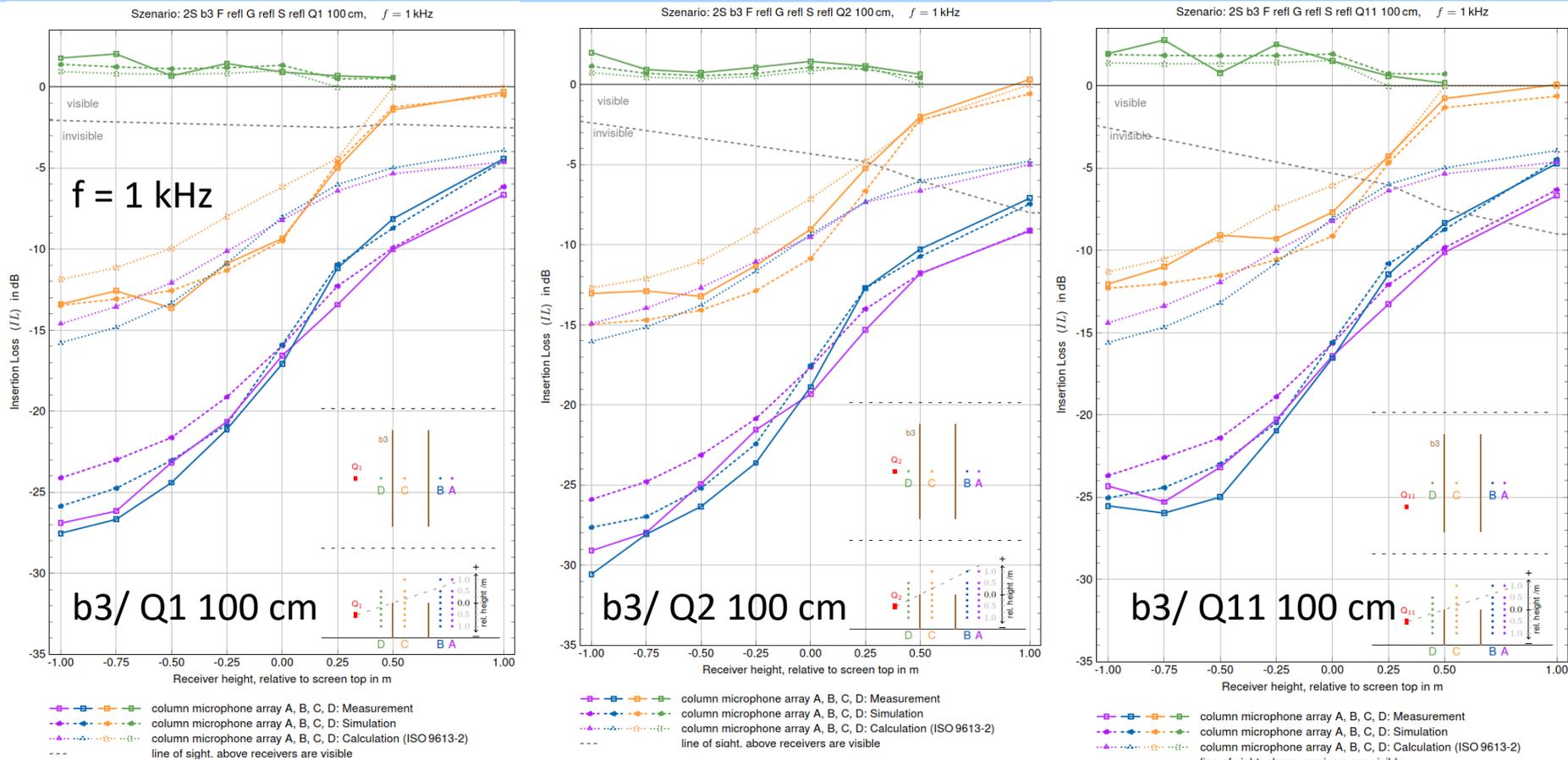
Résultats :

- SPD peut également représenter la diffraction multiple, même en combinaison avec des réflexions
- Le SPD sous-estime facilement l'IL, en particulier pour les destinataires éloignés dans l'ombre profonde

Column A		Column B		Column C		Column D		A - D
max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	avg [dB]
-5.55	-1.46	-2.09	-0.75	-1.17	-0.05	0.80	0.12	-0.56
abs. -5.73	-2.18	-4.00	-1.37	-1.26	-0.59	0.42	0.09	-1.05

2.2.2 Comparaison des résultats mesure/simulation

Excursion vers d'autres positions sources, réfl. sur le sol



Largueur b_3 : 4,14 m $\approx 12 \lambda$

Résultats :

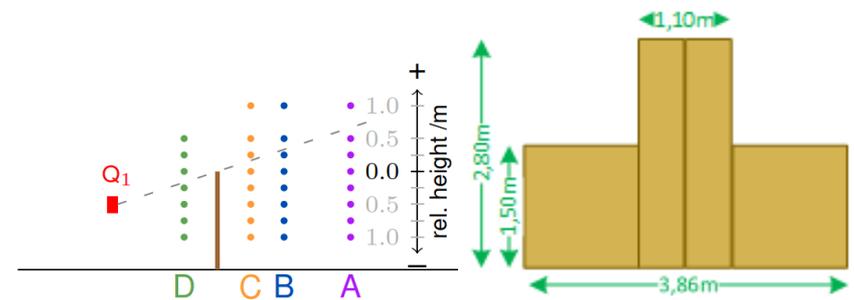
- Bonne concordance, même avec différentes sources (différentes hauteurs et hors du plan de réception) avec 2 écrans, les écarts augmentent

2.2.3 Comparaison des résultats mesure/simulation

Formes d'écran et scénarios plus complexes

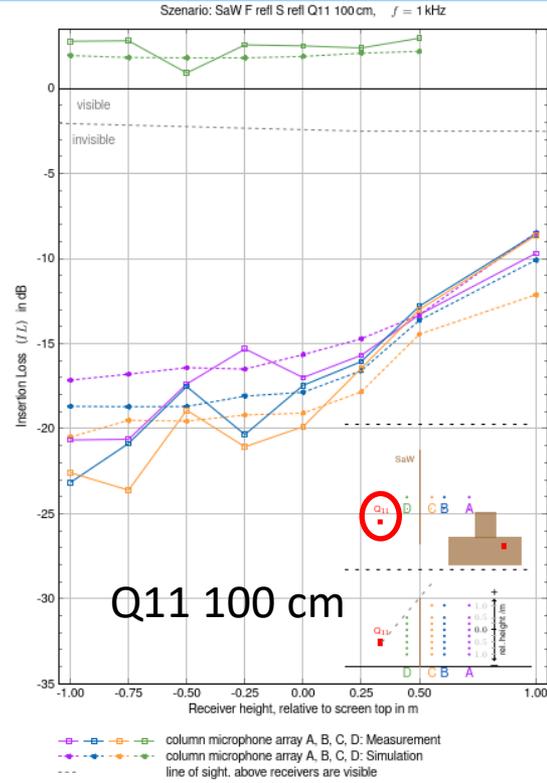
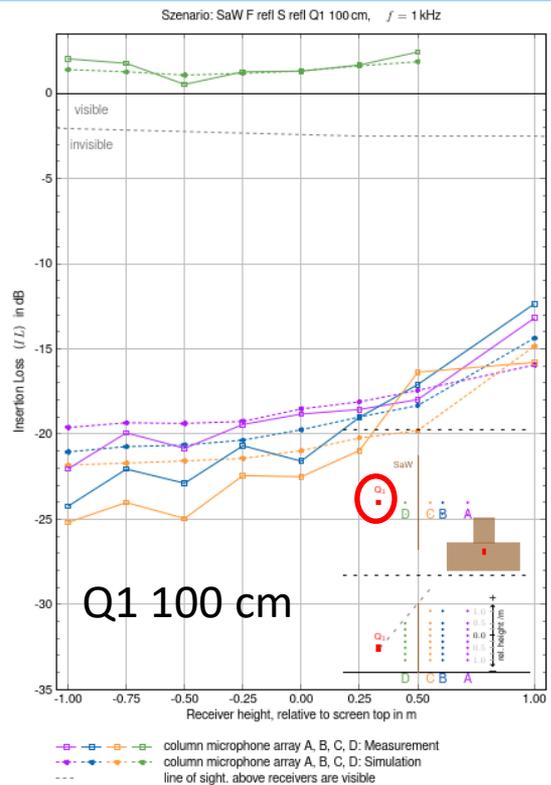
- 30 scénarios, chacun avec jusqu'à 12 positions sources (28 Go de données)
- Sélection pour cette présentation :
 - Focalisation sur des scénarios montrant que SPD est capable de traiter les effets de diffraction pertinents

- Scénarios à écran unique
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
- Scénarios à double écran
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
- **Scénarios plus complexes**
 - **Écran devant le mur**
 - Parapluie M
 - "Parapluies "en zigzag



2.2.3 Comparaison des résultats mesure/simulation

Scénarios complexes, écran devant un mur, réfl. s. le sol



Résultats :

- Une cohérence suffisante également avec ces scénarios nettement plus complexes, avec des formes de parapluie plus compliquées et arbitraires, pour lesquelles **les méthodes de contournement échouent.**

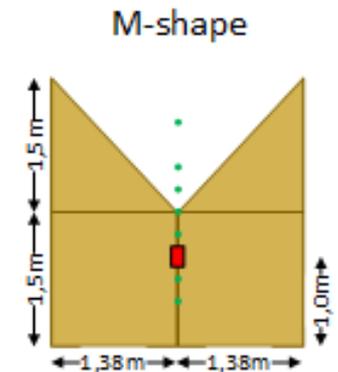
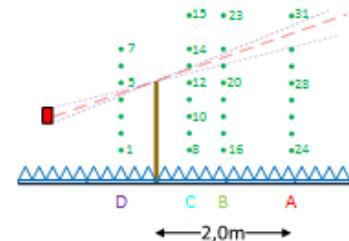
2.2.3 Comparaison des résultats mesure/simulation

Scénarios complexes, écran M, réflexion sur le sol

- 30 scénarios, chacun avec jusqu'à 12 positions sources (28 Go de données)
- Sélection pour cette présentation :
 - Focalisation sur des scénarios montrant que SPD est capable de traiter les effets de diffraction pertinents



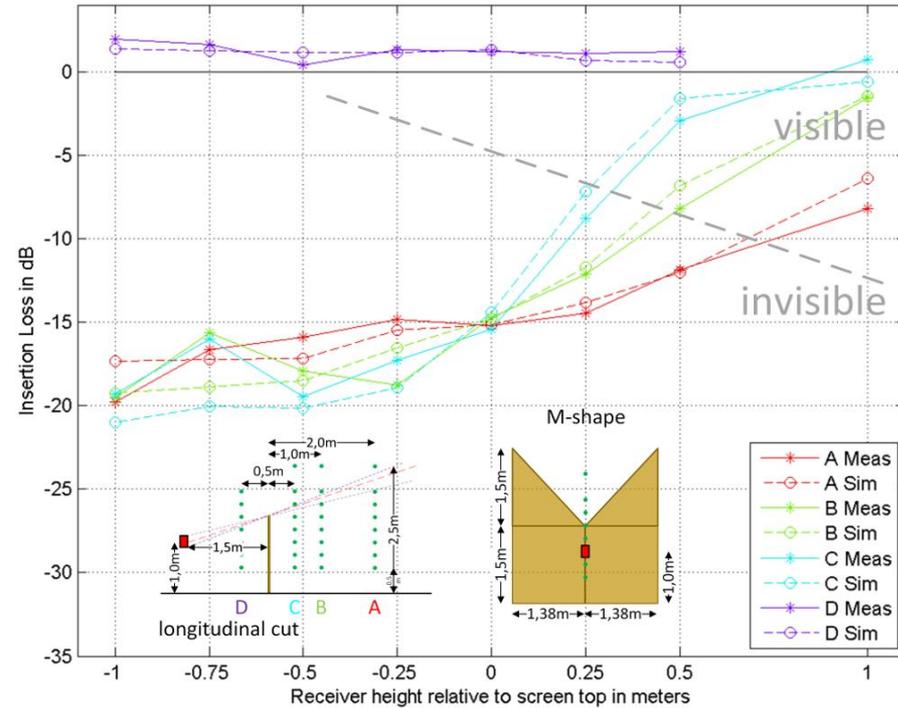
- Scénarios à écran unique
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
- Scénarios à double écran
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
- **Des scénarios plus complexes**
 - Écran devant un mur
 - **Parapluie M**
 - "Parapluies "en zigzag



2.2.3 Comparaison des résultats mesure/simulation

Scénarios complexes, écran M, réflexion sur le sol

Szenario MS_Frefl_Srefl_Q1_100cm Frequency: 1000Hz (Band 6/10)
4 mic array columns.



Résultats :

- Bonne correspondance, même pour les formes d'écran complexes pour lesquelles les méthodes de détournement échouent

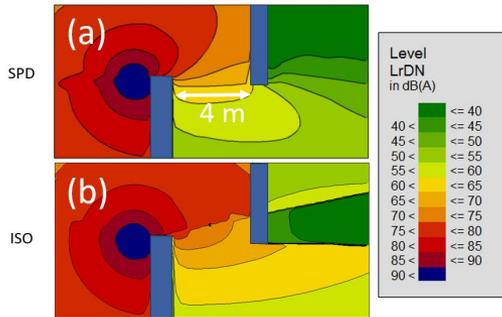
Column A		Column B		Column C		Column D		A - D
max	avg	max	avg	max	avg	max	avg	avg
[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
-2.48	-0.29	3.27	-0.08	4.06	0.68	-0.73	0.19	0.12

2.2.3 Comparaison des résultats mesure/simulation

Scénarios complexes, écran en zigzag, réflexion sur le sol

- 30 scénarios, chacun avec jusqu'à 12 positions sources (28 Go de données)
- Sélection pour cette présentation :

montrer les effets



scénarios à double écran

- Avec ou sans réflexion sur le sol
- Scénarios à double écran
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
- **Des scénarios plus complexes**
 - Écran devant un mur
 - Parapluie M
 - "Parapluies "en zigzag"

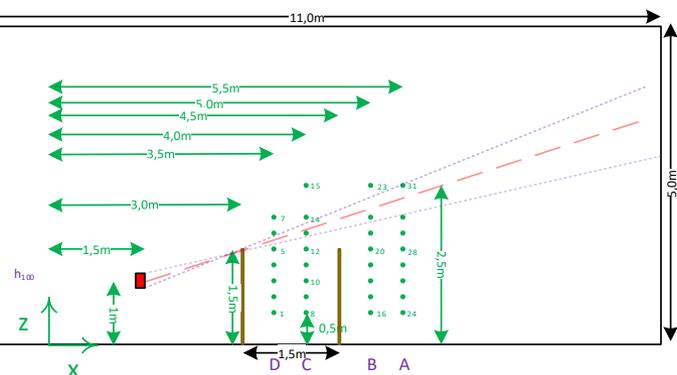
Two screens „zig zag“

2SZZ_Frefl_Srefl_Q1_100cm

footprint

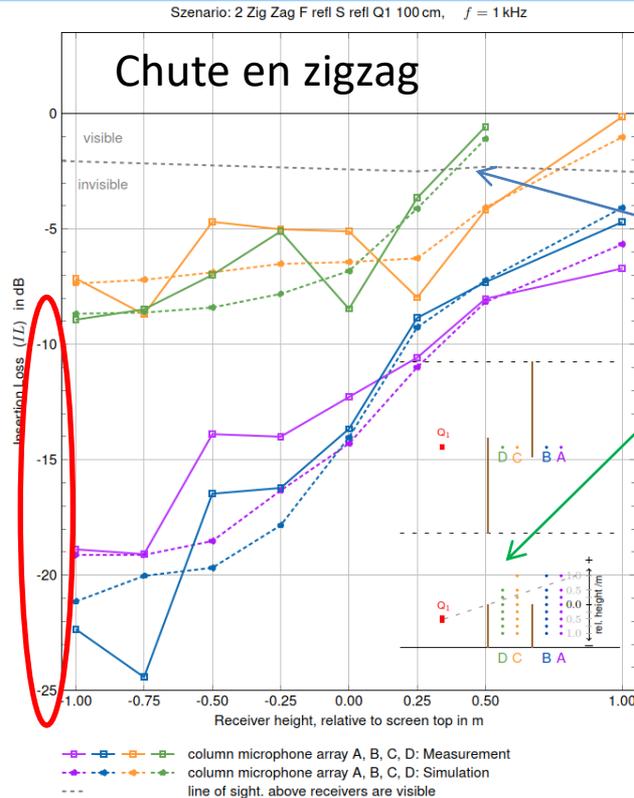


longitudinal cut

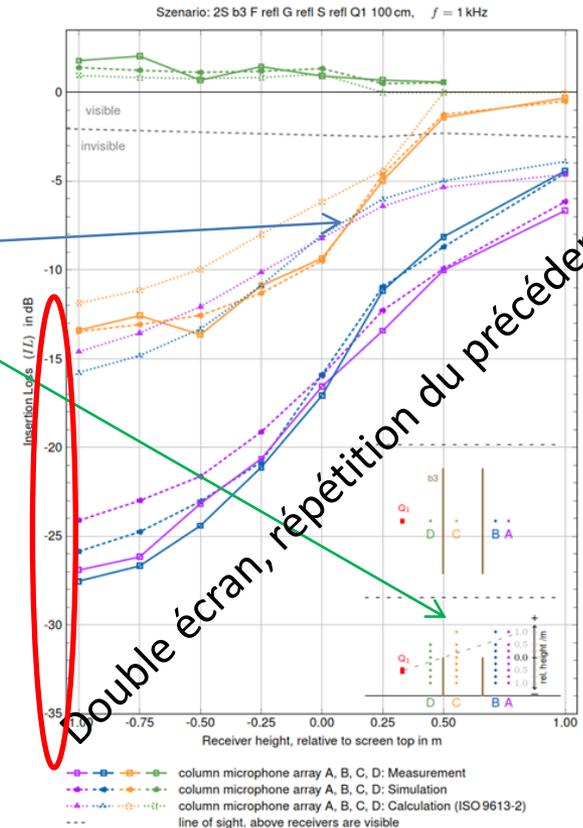


2.2.3 Comparaison des résultats mesure/simulation

Scénarios complexes, écran en zigzag, réflexion sur le sol



Attention !
 Tableau D = Tableau C



Résultats :

- Le chemin en "zigzag" au milieu est dominant, provoque une IL nettement plus faible
- Malgré la complexité croissante, SPD peut également reproduire ce scénario de manière qualitative
- écarts plus importants que pour les simples

Scénarios

Column A		Column B		Column C		Column D		A - D
max [dB]	avg [dB]	avg [dB]						
3.65	1.10	-4.78	-0.48	2.11	0.26	2.74	0.41	0.32

2.3 Validation : conclusion intermédiaire

- La méthode prédit correctement l'indice d'insertion par diffraction, à quelques exceptions près (effets d'interférence).
- La combinaison avec des réflexions fonctionne également
- L'**erreur moyenne sur tous les récepteurs** (à 1kHz) est de $\leq \pm 1$ dB
- La méthode n'est pas limitée à un nombre d'occurrences de diffraction ou d'arêtes de diffraction, mais prend implicitement en compte la diffraction.
- Même les formes d'écran les plus complexes peuvent être traitées
- Le procédé est donc applicable de manière générale, y compris pour les géométries pour lesquelles les méthodes de détournement échouent.

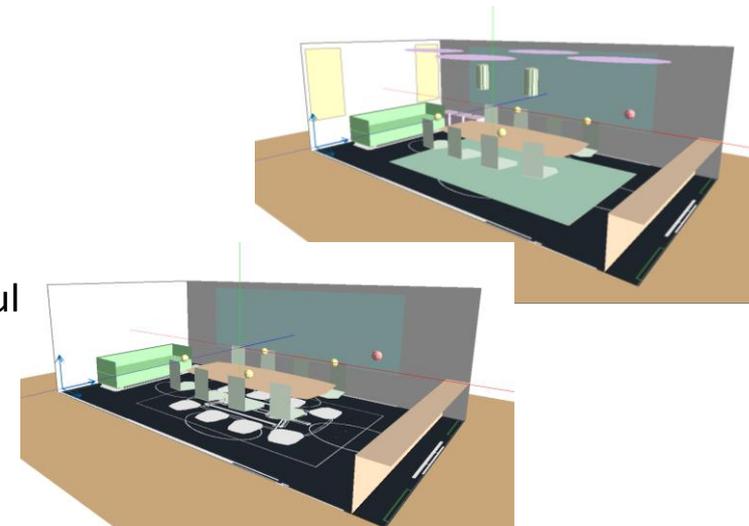
Comment allons-nous mettre cela en pratique ? Comment utilisez-vous le logiciel ? Comment créez-vous votre modèle ? Comment obtenez-vous des résultats ?

3. LE FLUX DE TRAVAIL : DU MODÈLE AU RÉSULTAT

3. Workflow dans SoundPLANnoise : possibilités

Dans ce qui suit, nous allons suivre le déroulement du travail, du modèle au résultat :

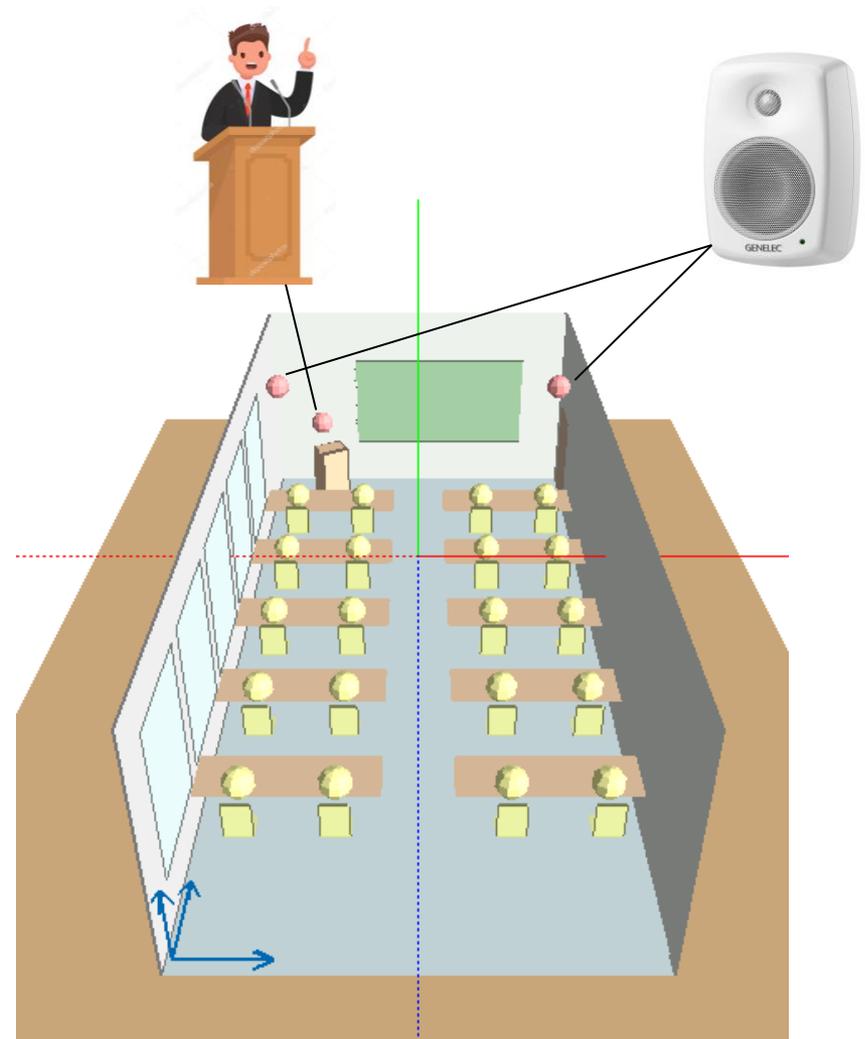
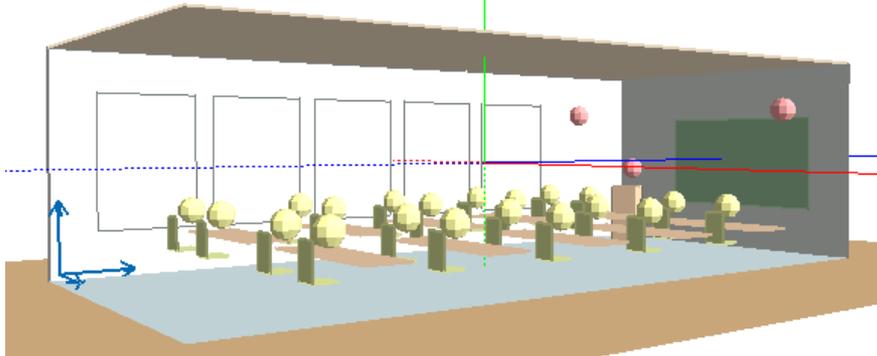
- Modélisation du scénario :
 - Image Mapping permet de modéliser des espaces à partir de plans (pdf) (plan et vues)
 - Les variantes permettent de modéliser rapidement et facilement les changements
 - Utilisation et définition des absorbants,
 - Utilisation de l'interface de la base de données Sarooma pour importer des absorbeurs de la base de données Sarooma (3400 produits, actualité du marché)
 - Utilisation et importation de fichiers CLF
- Création de cycles de calcul
- Visualisation des résultats dans les tableaux de résultat
- Auralisation des résultats
- Création de graphiques



Le projet dans SoundPLAN

Salle de séminaire : évaluation acoustique et ELA

Petite salle de séminaire typique
Taille : 6,5m x 14,0m x 4,3 m
20 places assises
Pupitre d'orateur avec petit système de sonorisation
Plafond acoustique,
Evaluation si ELA est nécessaire et
autres absorbeurs muraux nécessaires



Le projet dans SoundPLAN



Ce que vous pouvez en faire dans la pratique : Quelle est votre valeur ajoutée ?

4. DES ÉTUDES DE CAS : POSSIBILITÉS ET LIMITES

4.0 Études de cas : Aperçu

Nous examinons trois études de cas :

– Bureau paysager,

- Objectif : amélioration de l'acoustique des locaux, comparaison de variantes

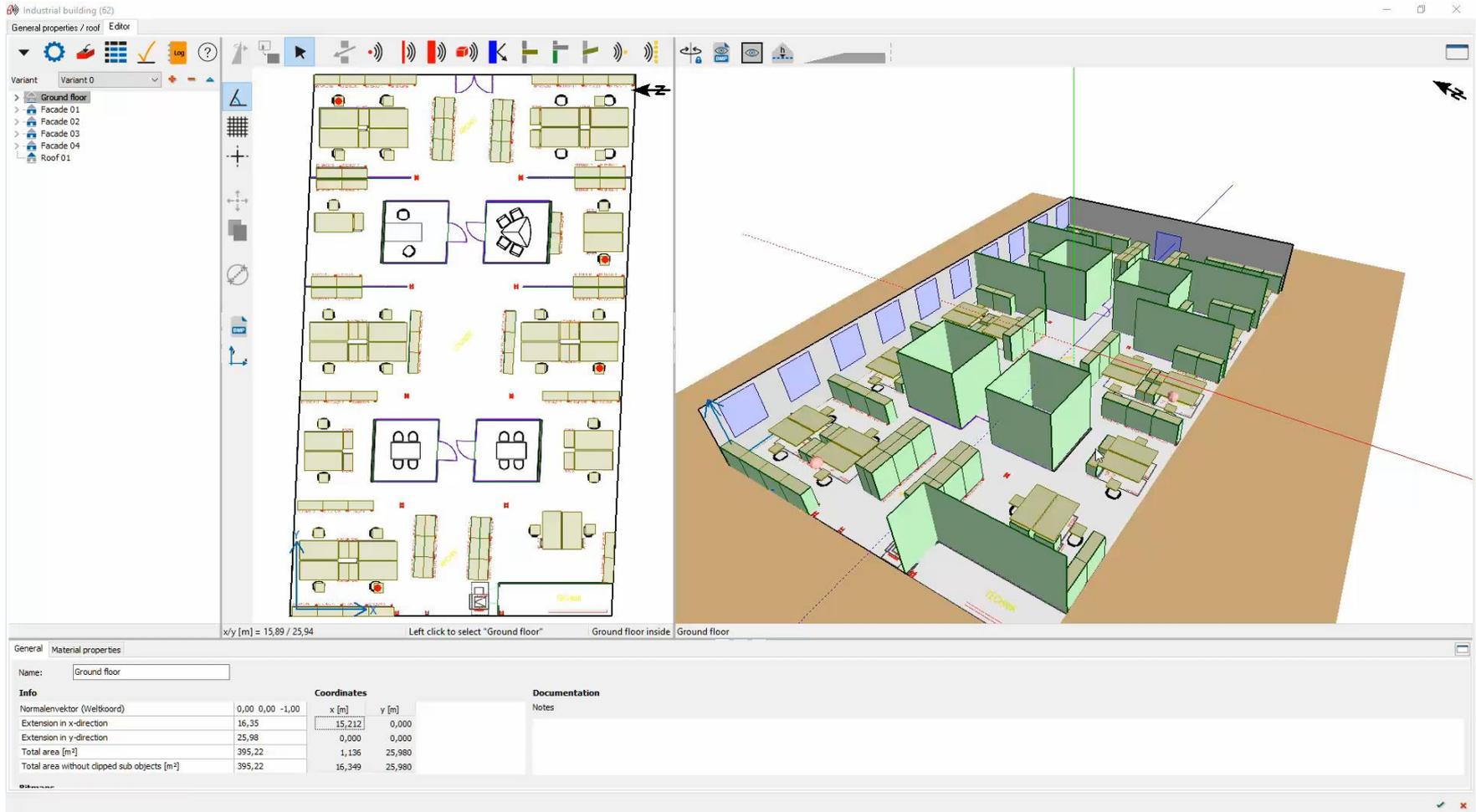
– Gare ferroviaire

- Objectif : Vérification d'un ELA pour les annonces

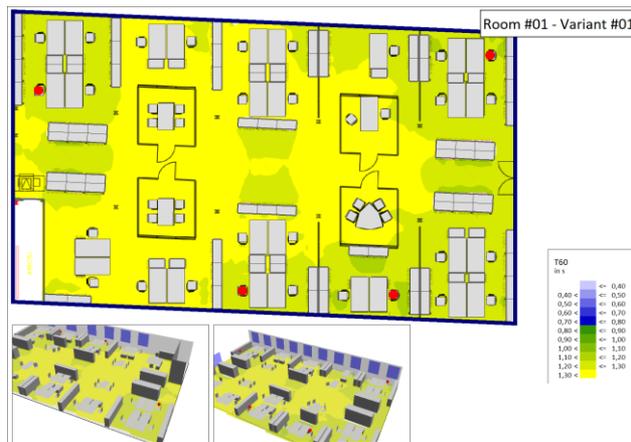
– Salle de séminaire

- Objectif : Amélioration de l'acoustique des locaux et vérification du système ELA

4.1.1 Bureau paysager : une impression

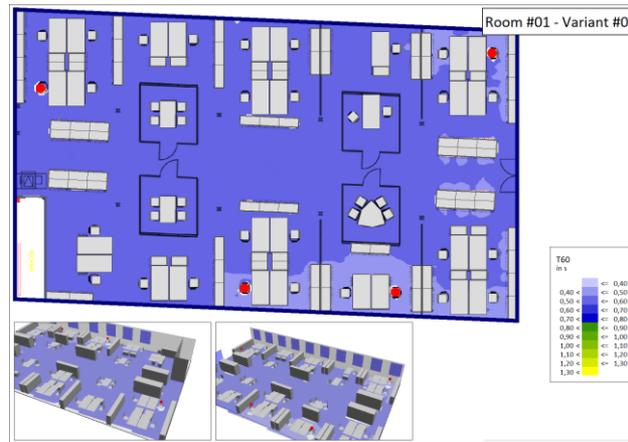


4.1.2 Bureau paysager : Temps de réverbération



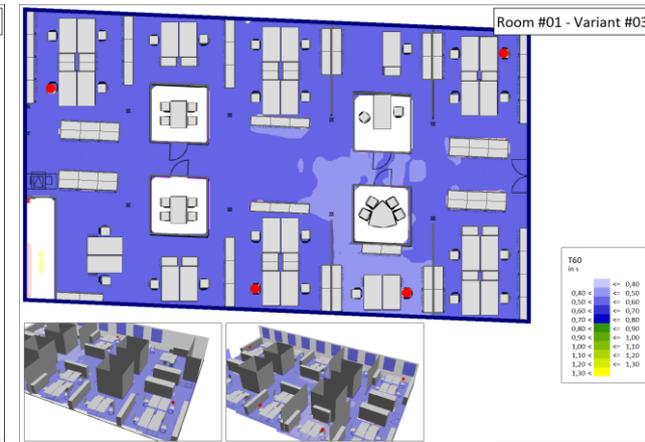
Variante V1 :

- Bureau à l'état initial
- pas de plafond acoustique
- pas de séparation de pièces



Variante V2 :

- avec plafond acoustique
- pas de séparation de pièces



Variante V3 :

- avec plafond acoustique
- avec séparateur d'espace
- avec des "groupes de réflexion"

4.1.3 Bureau paysager : niveau de pression acoustique



Variante V1 :

- Bureau à l'état initial
- pas de plafond acoustique
- pas de séparation de pièces

Variante V2 :

- avec plafond acoustique
- pas de séparation de pièces

Variante V3 :

- avec plafond acoustique
- avec séparateur d'espace
- avec des "groupes de réflexion"

4.1.4 Bureau paysager : intelligibilité de la parole STI



Variante V1 :

- Bureau à l'état initial
- pas de plafond acoustique
- pas de séparation de pièces

Variante V2 :

- avec plafond acoustique
- pas de séparation de pièces

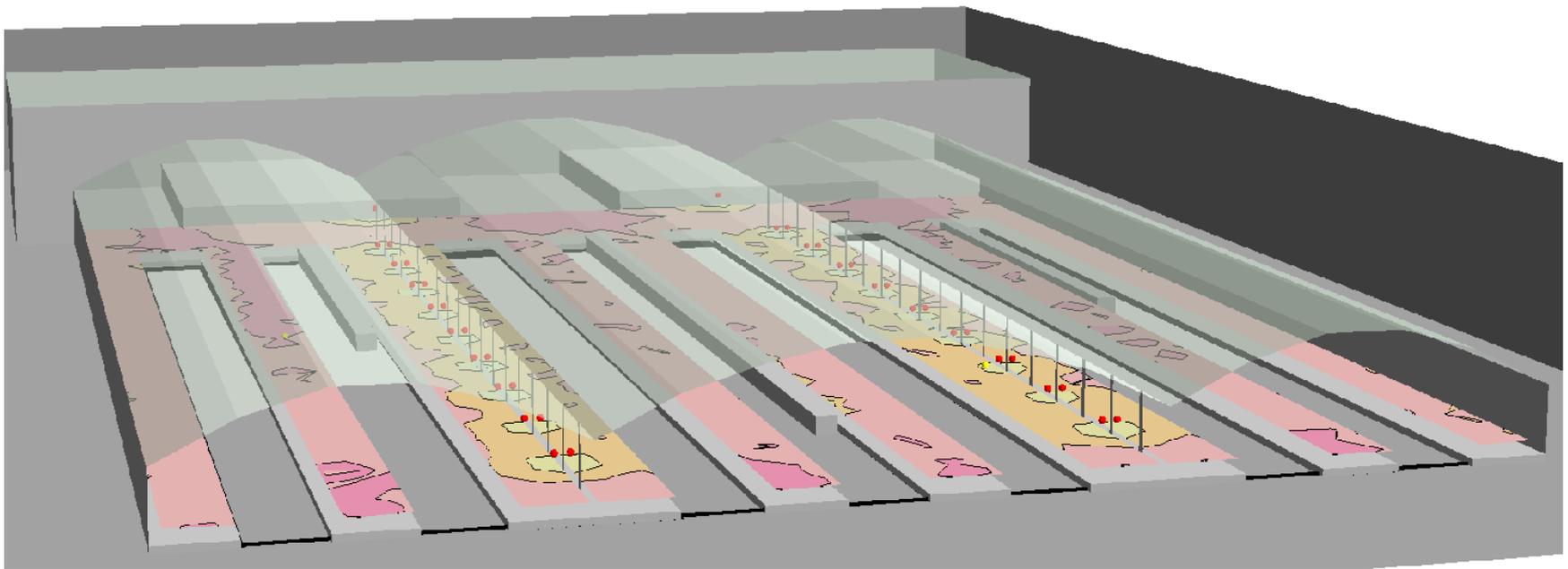
Variante V3 :

- avec plafond acoustique
- avec séparateur d'espace
- avec des "groupes de réflexion"

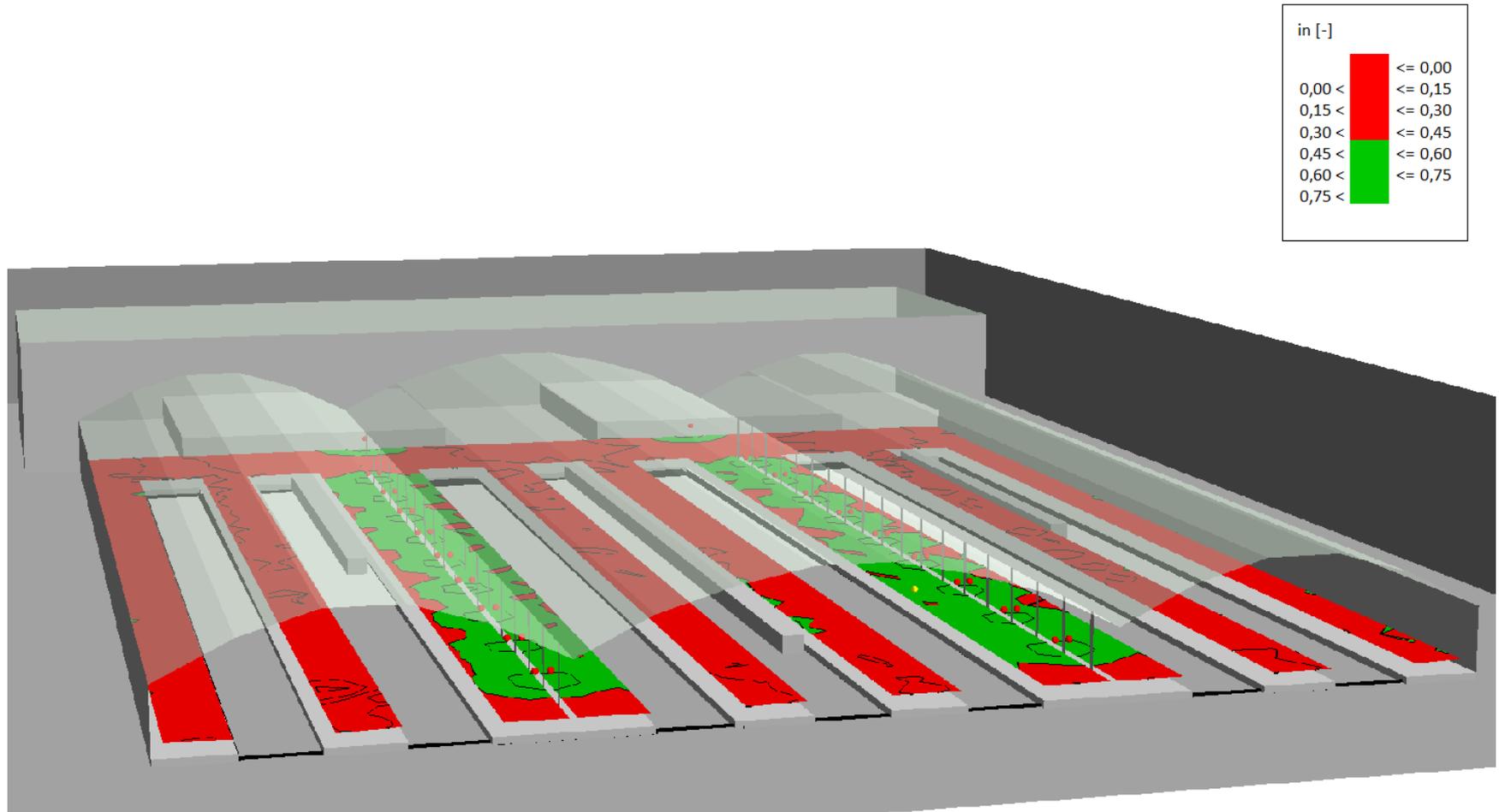
4.2.1 Gare : haut-parleurs uniquement sur les plates-formes doubles

Évaluation STI selon EN 60849 sur les plates-formes

STI Speech Transmission Index	
	0,00 - 0,30 unverständlich
	0,30 - 0,45 schwach
	0,45 - 0,60 angemessen
	0,60 - 0,75 gut
	>= 0,75 ausgezeichnet

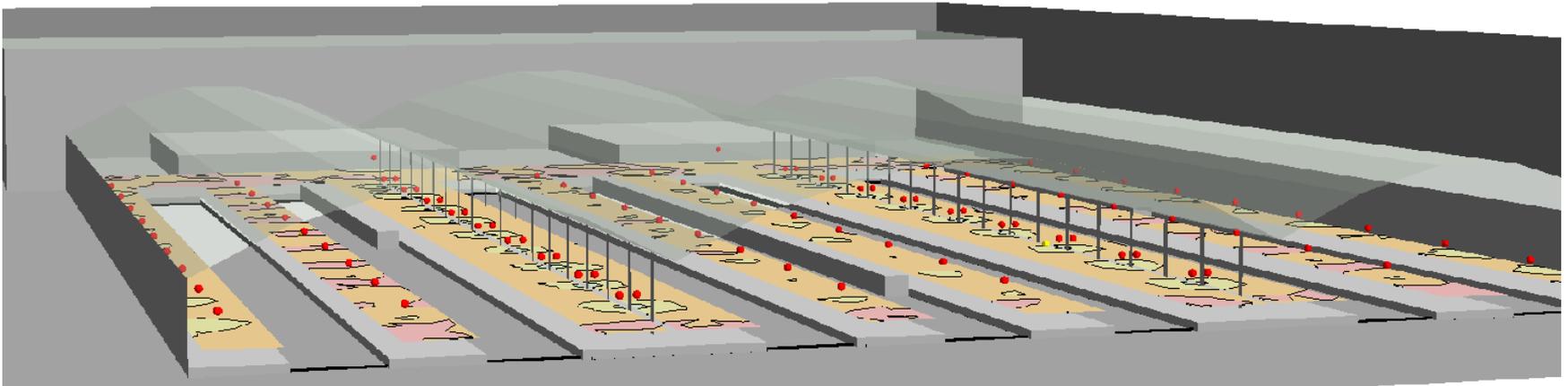


4.2.1 Gare : haut-parleurs uniquement sur les plates-formes doubles

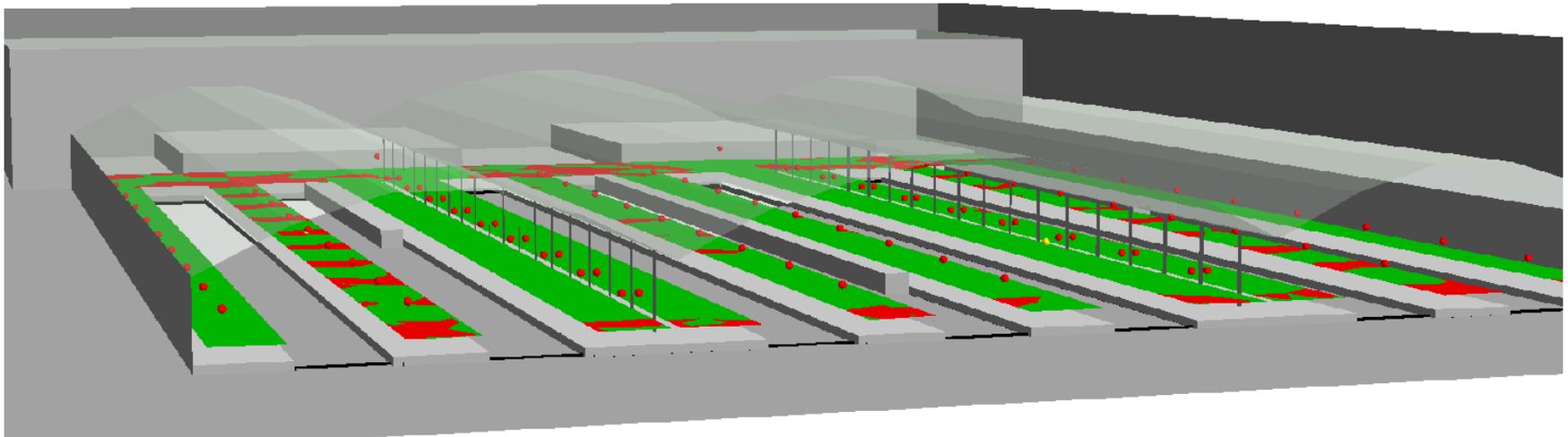
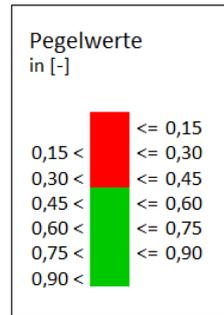


4.2.2 Gare : haut-parleurs sur toutes les plates-formes

STI	
Speech Transmission Index	
	0,00 - 0,30 unverständlich
	0,30 - 0,45 schwach
	0,45 - 0,60 angemessen
	0,60 - 0,75 gut
	$\geq 0,75$ ausgezeichnet



4.2.2 Gare : haut-parleurs sur toutes les plates-formes



4.2.3 Salle de séminaire : évaluation acoustique et ELA

Petite salle de séminaire typique

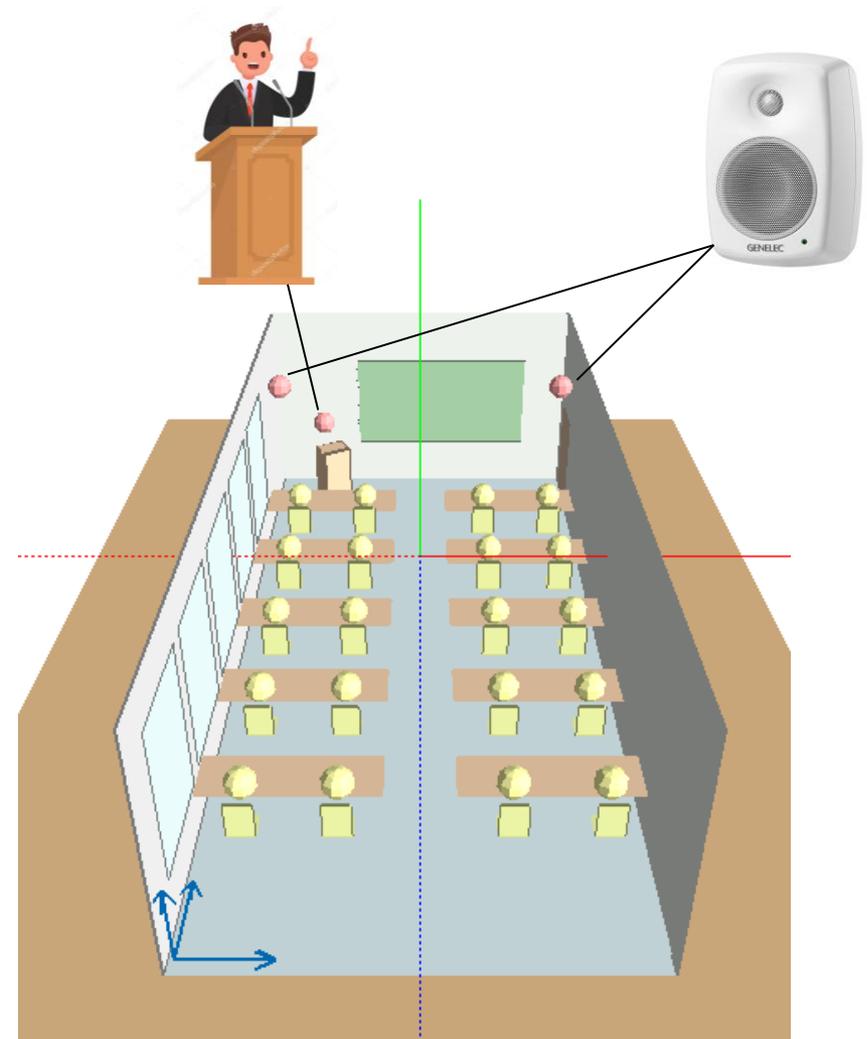
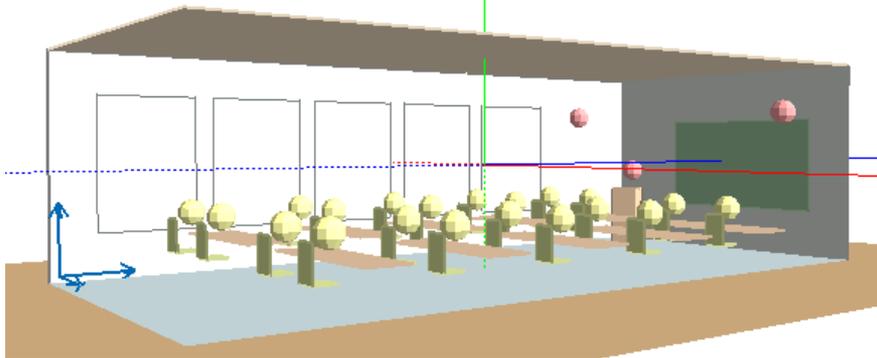
Taille : 6,5m x 14,0m x 4,3 m

20 places assises

Pupitre d'orateur avec petit système de sonorisation

Plafond acoustique,

Evaluation si ELA est nécessaire et autres absorbeurs muraux nécessaires

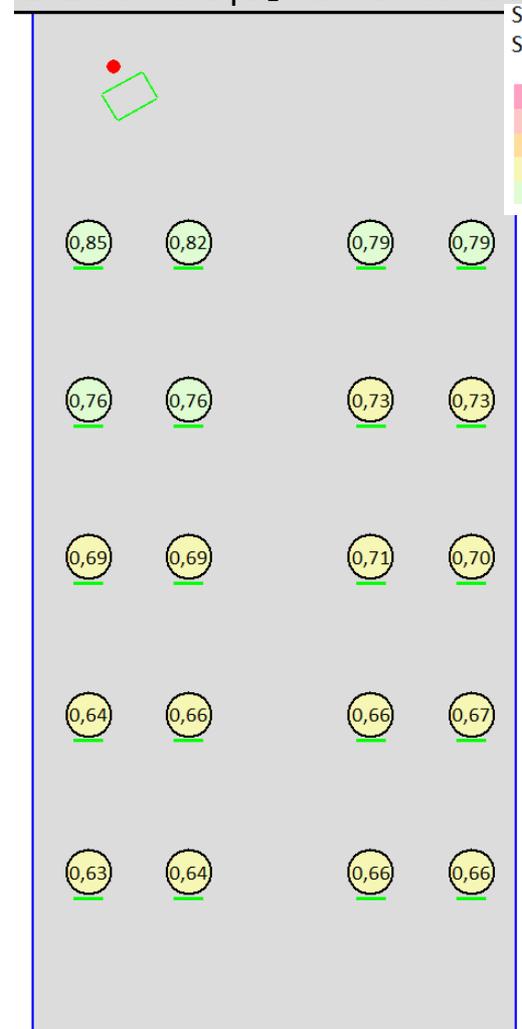
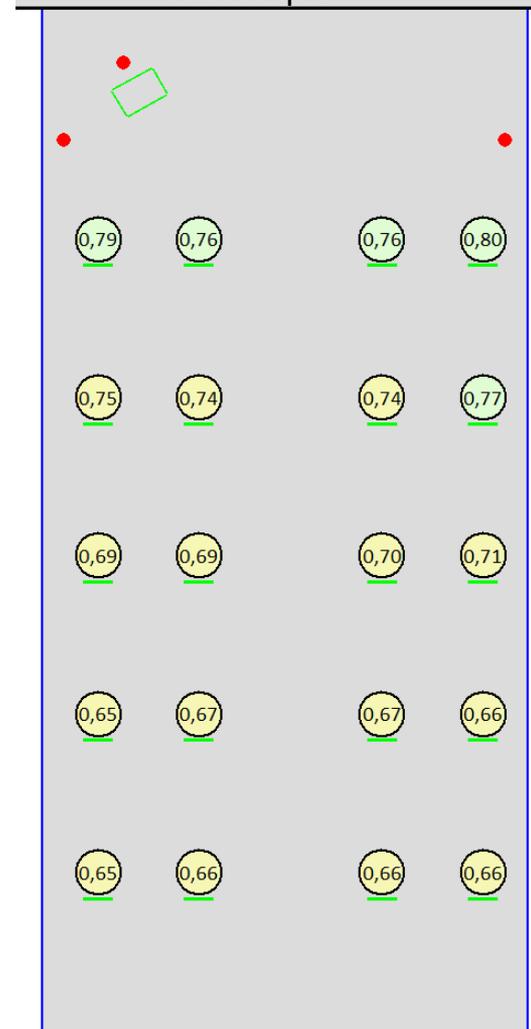
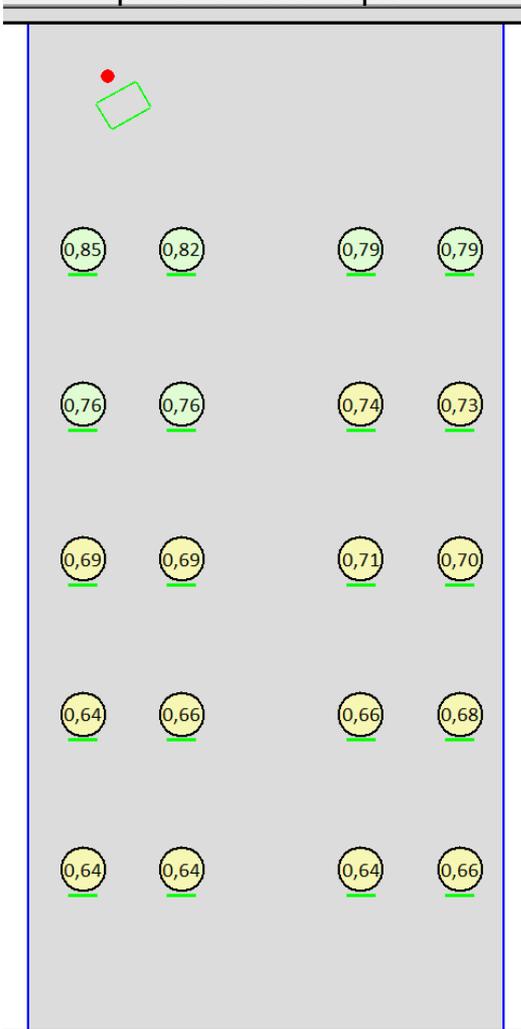
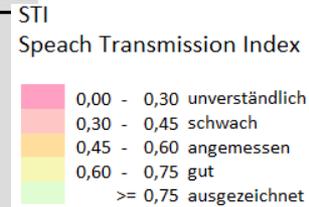


4.2.3 Salle de séminaire : évaluation acoustique et ELA

Intervenants uniquement,
plafond acoustique

speaker + ELA, plafond
acoustique

Intervenant uniquement,
plafond acoustique+ absorbant mural



Ce que vous devriez ramener chez vous

5) RÉSUMÉ ET PERSPECTIVES

5) Résumé et perspectives

Simulation de l'acoustique d'une pièce : Leurs possibilités et leurs

Possibilités

1. Prévisions acoustiques rapides et simples et évaluation de l'amélioration de l'acoustique des pièces
2. Algorithme bien validé, diffraction unique
3. A l'avenir :
Importation de la géométrie
meilleures possibilités
d'administration de distributions de sources plus complexes et de variantes acoustiques
Calcul avec phase

Frontières

1. Acoustique toujours énergétique, pas d'interférences ni d'autres phénomènes d'ondes/de phases
2. Pas de magie, pas de "super bouton" :
L'utilisateur doit disposer de connaissances spécialisées sur
 1. Modélisation pertinente
 2. un suivi et une interprétation pertinents des résultats

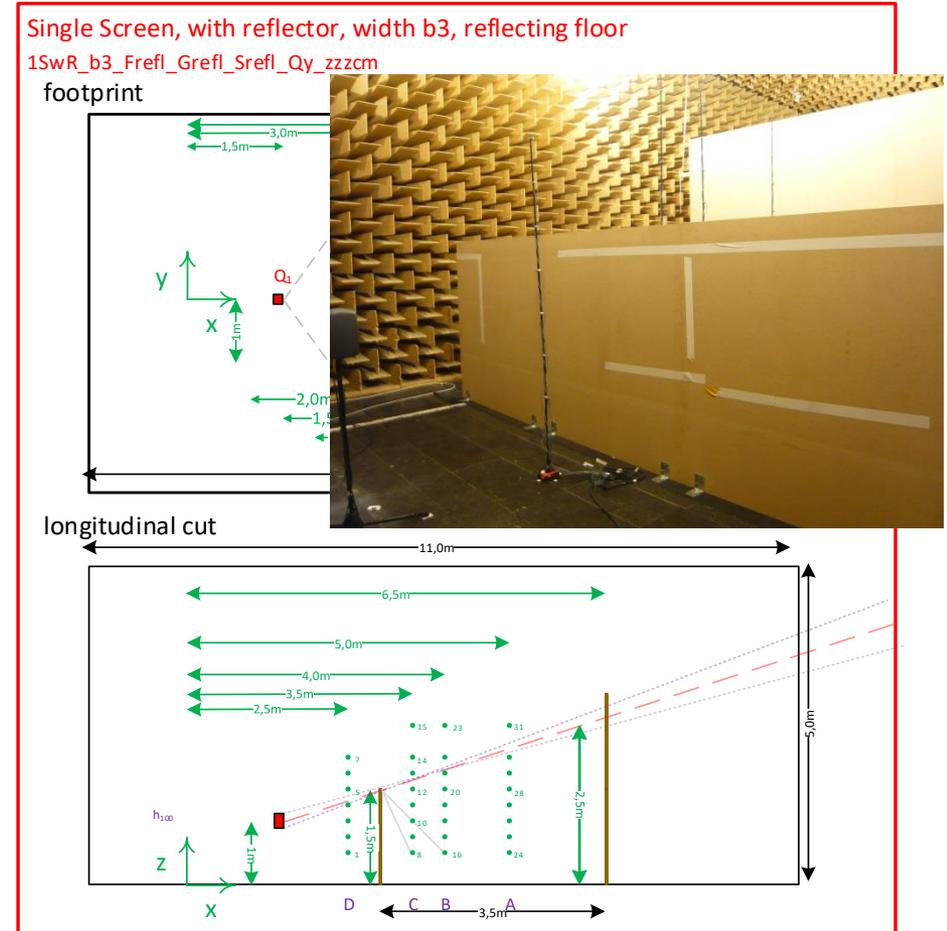
Merci à tous ! À vous de jouer : le temps de poser vos questions

**MERCI DE VOTRE ATTENTION !
DES QUESTIONS ?**

4. résultats de la comparaison mesures/sim.

Choix des scénarios et raisons p. lesq. ils ont été retenus

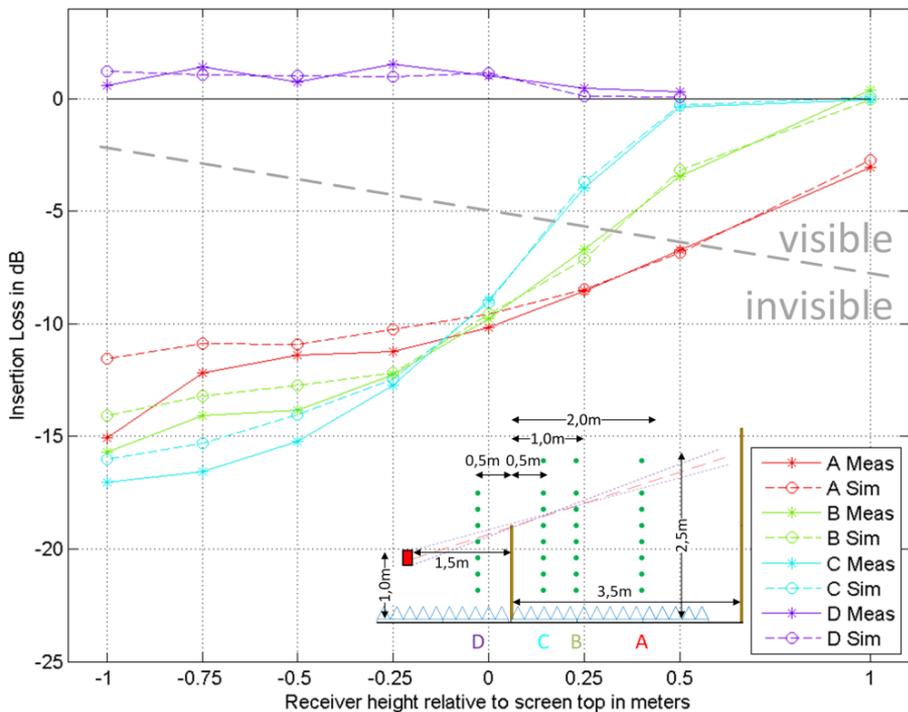
- 30 scénarios, jusqu'à 12 positions de source chacune (28 Go de données)
- Sélection pour cette discussion :
 - Proof SPD capable de gérer les effets et les scénarios de diffraction les plus pertinents
 - **Scénarios à écran unique**
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
 - En **combinaison avec un mur arrière** - avec ou sans **réflexions sur** le sol
 - Scénarios à double écran
 - Avec ou sans réflexion sur le sol
 - Scénarios plus complexes
 - Écran et mur
 - Écran en forme de M
 - "Zig Zag" screens



mesures/simulations

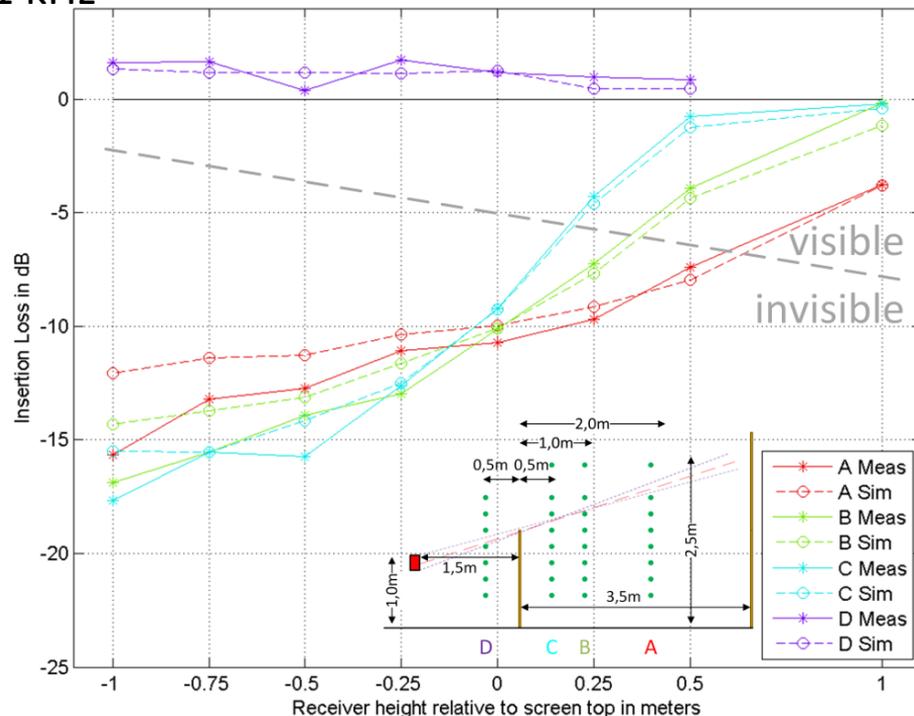
2.4 Diffraction + réflexion arrière, largeur 3, refl. vs. sol

Scenario 1SwR_b3_Fabs_Gabs_Srefl_Q1_100cm Frequency: 1000Hz (Band 6/10)
4 mic array columns.



f = 1 kHz

Scenario 1SwR_b3_Frefl_Grefl_Srefl_Q1_100cm Frequency: 1000Hz (Band 6/10)
4 mic array columns.



Résultats :

- L'effet du réflecteur arrière est correctement reproduit
- Moins d'IL que sans réflecteur (environ 5 dB de moins)
- Déviations surtout pour le récepteur le plus

Column A		Column B		Column C		Column D		A - D	
max [dB]	avg [dB]								
-3.57	-1.02	-2.60	-0.59	-2.16	0.36	-0.79	0.19	0.47	