

# Présentation d'article :

Improved algorithms and methods for room sound-field prediction  
by acoustical radiosity in arbitrary polyhedral rooms

Élie Michel

14 mars 2017

# Table of Contents

## Motivations

Prédictions de champ sonore

## Problème

Prédictions de champ sonore

Ray-tracing vs Acoustical Radiosity

Avantages et inconvénients de l'Acoustic Radiosity (AR)

## Méthode

Vue d'ensemble

Équation du rendu

## Simulation

Discrétisation

Facteurs de forme

Résultats expérimentaux

# Table of Contents

## Motivations

Prédictions de champ sonore

## Problème

Prédictions de champ sonore

Ray-tracing vs Acoustical Radiosity

Avantages et inconvénients de l'Acoustic Radiosity (AR)

## Méthode

Vue d'ensemble

Équation du rendu

## Simulation

Discrétisation

Facteurs de forme

Résultats expérimentaux

# Motivations

## Prédictions de champ sonore

### Architecture

- ▶ Théâtre, cinéma
- ▶ Salle de conférences
- ▶ Bureaux de travail

### Simulation interactive

- ▶ Jeu vidéo
- ▶ Réalité virtuelle

# Table of Contents

## Motivations

Prédictions de champ sonore

## Problème

Prédictions de champ sonore

Ray-tracing vs Acoustical Radiosity

Avantages et inconvénients de l'Acoustic Radiosity (AR)

## Méthode

Vue d'ensemble

Équation du rendu

## Simulation

Discrétisation

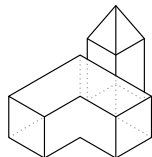
Facteurs de forme

Résultats expérimentaux

# Problème

Prédictions de champ sonore

Entrée



Géométrie

+



Sources



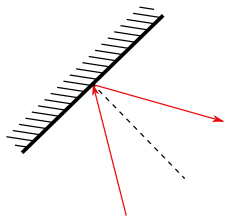
Sortie

Champ sonore **en tout point** au cours du **temps**

# Problème

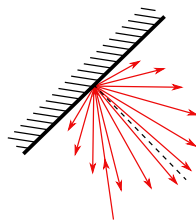
## Ray-tracing vs Acoustical Radiosity

Ray-tracing



Réflexion uniquement  
Spéculaire

Acoustic Radiosity



Réflexion uniquement  
Diffuse

# Problème

## Avantages et inconvénients de l'Acoustic Radiosity (AR)

### Avantages

- ▶ Prédiction du champ **en tout point** de l'espace

### Inconvénients

- ▶ Traite uniquement de l'énergie  $\Rightarrow$  Pas d'interférences  
Ok si  $\lambda \ll L$
- ▶ Réflexion uniquement diffuse  
Hypothèse valide à long terme, possibilité d'approche mixte avec raytracing



# Table of Contents

## Motivations

Prédictions de champ sonore

## Problème

Prédictions de champ sonore

Ray-tracing vs Acoustical Radiosity

Avantages et inconvénients de l'Acoustic Radiosity (AR)

## Méthode

Vue d'ensemble

Équation du rendu

## Simulation

Discrétisation

Facteurs de forme

Résultats expérimentaux

# Méthode

## Vue d'ensemble

### 1. Précalcul (*Baking*)

Résolution de l'équation  
intégrale fondamentale  
sur  $B$ .

### 2. Évaluation

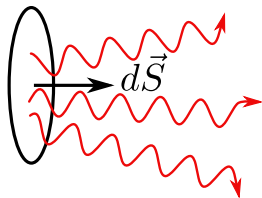
Depuis le champ  $B$ , évaluation  
rapide en un point de la densité  
d'énergie acoustique  $E$ .

*Méthode issue de l'informatique graphique.*

*Principale différence : temporalité du son.*

# Méthode

## Équation du rendu



*B*: Flux d'énergie surfacique

Équation du rendu :  
Conservation de l'énergie

# Méthode

## Équation du rendu

Pour un élément de surface  $d\vec{S}$ , pendant un intervalle temps  $dt$  :

$$d^2 E_{\text{émise}} = d^2 E_{\text{reçue}} - d^2 E_{\text{absorbée}}$$

Donc, en divisant par  $dS \cdot dt$ , on a :

$$B_{\text{émis}} = B_{\text{reçu}} - B_{\text{absorbé}}$$

Si on suppose que  $B_{\text{absorbé}} \propto B_{\text{reçu}}$ , alors

$$B_{\text{émis}} = \rho B_{\text{reçu}}$$

# Méthode

## Équation du rendu

Le flux d'énergie reçu par  $d\vec{S}$  est la somme du flux reçu depuis chaque autre élément  $d\vec{S}'$ <sup>1</sup>.

$$B_{\text{reçu}}^{dS}(t)dS = \int_{d\vec{S}'} d^2 B_{\text{reçu}}^{dS' \rightarrow dS}(t)dS'$$

Notons que

$$B_{\text{reçu}}^{dS' \rightarrow dS}(t) = B_{\text{émis}}^{dS' \rightarrow dS}(t + R/c)$$

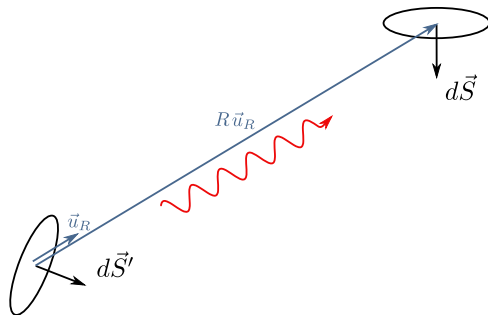
---

1. Plus un terme de source  $dB_{\text{reçu}}^{\text{source} \rightarrow dS}(t)dS$

# Méthode

## Équation du rendu

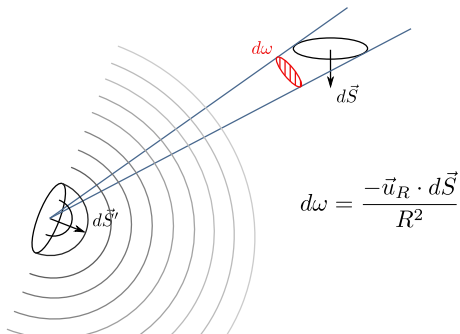
Déterminons  $d^2 B_{reçu}^{dS' \rightarrow dS}(t)$ .



# Méthode

## Équation du rendu

Flux d'énergie émis dans l'angle solide  $d\omega$  porté par  $\vec{u}_R$ .



# Méthode

## Équation du rendu

Hypothèse de réflexion diffuse :

$$\frac{dB_{\text{émis}}^{dS' \rightarrow \vec{u}_R}}{d\omega} dS' \propto \cos \theta' dS' = \vec{u}_R \cdot d\vec{S}'$$

En intégrant sur toute l'hémisphère d'émission, on trouve une constante de proportionnalité de  $\frac{1}{\pi} B_{\text{émis}}^{dS'}(t)$ . Ainsi,

$$d^2 B_{\text{reçu}}^{dS' \rightarrow dS}(t) dS' = \frac{\cos \theta \cos \theta'}{\pi R^2} B_{\text{émis}}^{dS'}(t - R/c) dS dS'$$



# Méthode

## Équation du rendu

On ajoute également un terme multiplicatif  $e^{-mR}$  d'absorption par l'air. On obtient ainsi l'équation intégrale, dite *du rendu* par analogie :

$$B_{\text{émis}}^{dS}(t) = \frac{\rho}{\pi} \int_{d\vec{S}'} \frac{\cos \theta \cos \theta'}{R^2} B_{\text{émis}}^{dS'}(t - R/c) e^{-mR} dS'$$

Un terme de source  $B_s(t - R_s/c)$  où  $R_s$  est la distance de  $d\vec{S}$  à la source doit aussi être ajouté.

# Table of Contents

## Motivations

Prédictions de champ sonore

## Problème

Prédictions de champ sonore

Ray-tracing vs Acoustical Radiosity

Avantages et inconvénients de l'Acoustic Radiosity (AR)

## Méthode

Vue d'ensemble

Équation du rendu

## Simulation

Discrétisation

Facteurs de forme

Résultats expérimentaux

# Simulation

## Discrétisation

### Réponse impulsionnelle

- ▶ Simplification des termes de source.
- ▶ Simplification du terme d'absorption de l'air.

### Approximation des surfaces

- ▶ Subdivision, éventuellement hiérarchique, en petites surfaces.

### Discrétisation du temps

- ▶ Intégration de l'énergie sur un petit intervalle de temps  $\Delta t$ .
- ▶ Dernières itérations moyennées.

# Simulation

## Facteurs de forme

### Principale difficulté évoquée par l'article

- ▶ Les facteurs de forme font l'objet de beaucoup d'études.
- ▶ Exactement les mêmes qu'ailleurs, en thermo ou graphique, donc les mêmes outils peuvent être utilisés, (e.g. *Helios*).

### Solutions adoptées

- ▶ Cubic-tetrahedral method
- ▶ Spherical-triangle method

# Simulation

## Résultats expérimentaux

### Simulation dans le cas de sphères

- ▶ Possibilité de confronter aux résultats analytiques.
- ▶ Erreur estimée raisonnable par les auteurs.
- ▶ Pas d'autres expériences proposées ?

# Conclusion

## Radiance acoustique

- ▶ Motivations
- ▶ Fondement physique
- ▶ Difficultés pratiques

Merci

Questions ?