

Lancer de rayons 3D pour l'acoustique

Matthieu Dreher¹, Guillaume Dutilleux¹, Fabrice Junker²

¹ERA 32 - LRPC de Strasbourg

²EDF R&D/AMA

8 juin 2011

- 1 Introduction au lancer de rayons 3D
- 2 Zoom sur les structures accélératrices
- 3 Moteur générique de lancer de rayons
- 4 Intégration dans deux environnements de calcul acoustique

Introduction au lancer de rayons 3D

Contexte et objectifs

On cherche à calculer le niveau sonore d'un récepteur à l'aide de la méthode du lancer de rayons en 3D

- Pré-requis : Scène quelconque disposant au minimum d'une source ponctuelle et d'un récepteur.
- Objectif : Trouver les chemins acoustiques entre une source et un récepteur puis convertir chaque chemin en une contribution
- Travail en 2 temps : 1ère phase géométrique avec propagation des rayons à partir de la source, 2ème phase acoustique avec analyse des rayons pour calculer la contribution du rayon sur le récepteur

Algorithme général du lancer de rayons

Algorithm 1 Algorithme général du lancer de rayons

for all rays **do**

Chercher la première intersection du rayon sur la scène

if intersection trouvée **then**

Gestion de l'interaction avec la scène

Génération de rayon(s) secondaire(s)

end if

end for

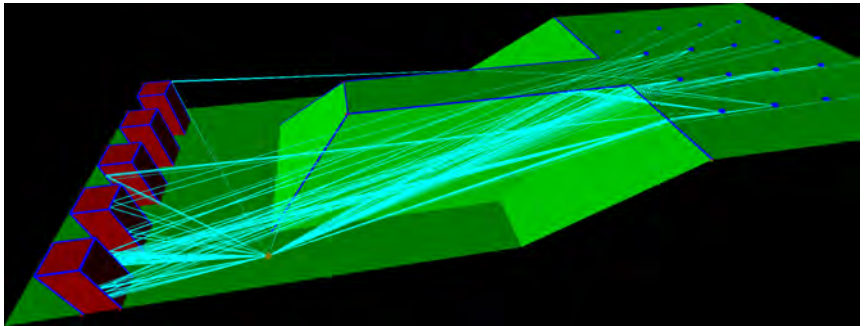


FIGURE: Exemple d'un lancer de rayons 3D. Le lancer a trouvé un certains nombres de rayons allant des sources (sphères bleues) vers le récepteur (sphère brune) en passant par des arêtes de diffraction (segments bleus)

Comparaison lancer de rayons 2D 1/2 vs 3D

Lancer de rayons 2D 1/2

- Calcul allégé en 2D puis reconstruction de la hauteur par interpolation
- Limite les scènes à une seule surface : un seul z pour un (x,y)
- Exemple : impossibilité de traiter un pont correctement

Lancer de rayons 3D

- Calcul d'intersection en 3D sur une scène quelconque
- Permet de traiter n'importe quelle scène sans limitations
- Coût de traitement plus élevé

Zoom sur les structures accélératrices

Complexité du calcul

Charges de calcul

- Nombre de rayons à générer par source et par évènement (diffraction, réflexion diffuse, etc...)
- Pour chaque rayon, trouver la (ou les) première(s) intersection(s) entre le rayon et les primitives (triangle, cylindre, polygone, etc...)

Comment limiter le calcul ?

- Nombre de rayons : paramètres de l'utilisateur
- Trouver la première intersection : utilisation d'une structure accélératrice

Définition d'une structure accélératrice pour le lancer de rayons

- Problématique : étant donné un rayon, on veut savoir qu'elle va être sa (ou ses) première(s) intersection(s).
- Solution naïve : faire un calcul d'intersection entre le rayon et chaque primitive et prendre la première intersection
- Complexité en $O(n)$ avec n le nombre de primitives dans la scène (ie le nombre de formes géométriques) : trop coûteux !
- Solution des structures accélératrices : tests intermédiaires peu coûteux qui vont permettre d'éliminer des ensembles entiers de primitives

La boîte englobante : outil indispensable des structures accélératrices

Définition d'une boîte englobante (Bounding Box)

Une boîte englobante est une forme géométrique simple (généralement un parallélépipède aligné sur les axes) qui englobe un ensemble de primitives.

Comment s'en servir pour le lancer de rayons ?

- Supposons une boîte englobante contenant un ensemble de primitives et un rayon.
- On commence par tester l'intersection entre le rayon et la boîte englobante.
- Si le test échoue, alors il est inutile de tester le rayon avec les primitives.

Les structures accélératrices en pratique

- On crée une arborescence de boîtes englobantes qui contiennent de moins en moins de primitives.
- On commence par tester le rayons avec la boîte englobante qui contient l'ensemble de la scène (c'est la racine)
- Si le test réussit, on teste le rayon avec 2 (ou plus) sous boîtes englobantes (les fils).
- Si la boîte englobante ne contient plus de sous boîte englobante, on teste le rayon avec les primitives contenues dans la boîte englobante.

Exemple de structure : Bounding Volume Hierarchy

- La racine contient la boîte englobante qui regroupe l'ensemble des primitives.
- Construction des fils : on divise la liste des primitives en 2 puis on calcule les boîtes englobantes des 2 sous ensembles.

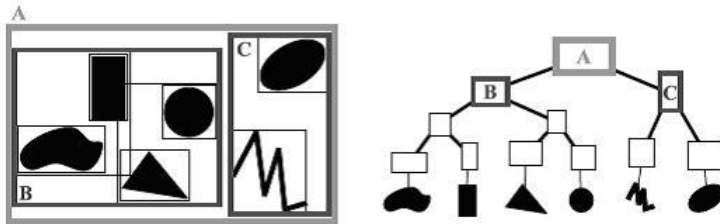


FIGURE: Représentation des primitives dans une hiérarchie de boîtes englobantes (BVH)

Kd-Tree

- La racine contient la boîte englobante qui regroupe l'ensemble des primitives.
- Construction des fils : on divise la boîte englobante en 2 puis on répartie les primitives dans les 2 sous boîtes englobantes.

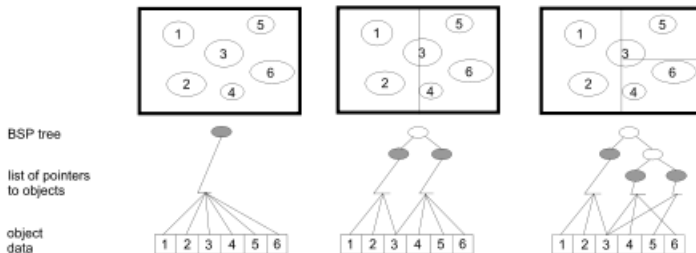


FIGURE: Exemple de subdivision spatiale en utilisant une coupe au milieu de l'espace. (Kd-Tree)

Scène de test des structures accélératrice : Saint Berthevin

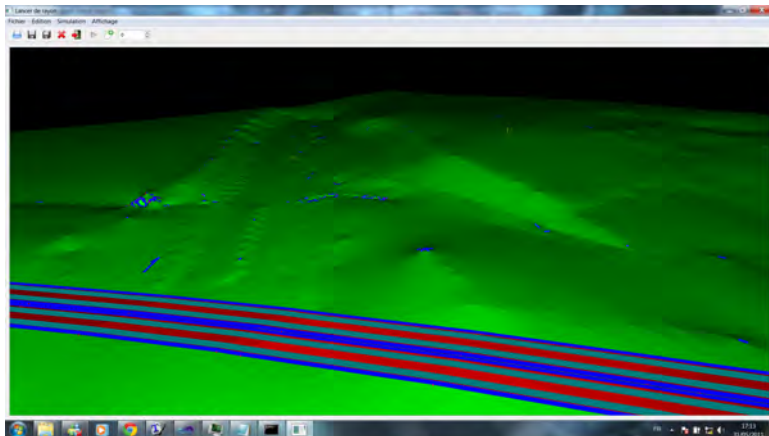


FIGURE: Scène de Saint Berthevin composée d'environ 30000 triangles présentant une vallée avec un pont la surplombant.

Subdivision de Saint Berthevin par un Kd-Tree

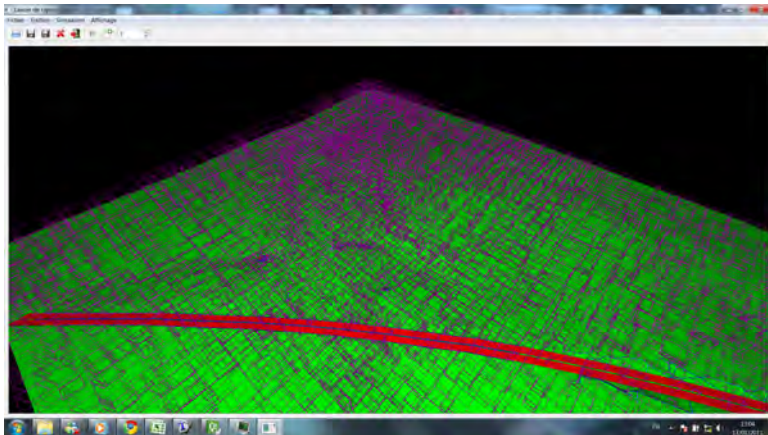


FIGURE: Décomposition de la scène de Saint Berthevin par un kd-tree

Quelques chiffres pour Saint Berthevin (≈ 30000 primitives)

Structure	Temps de calcul(sec)	Vitesse (rayons/sec)
Naïf	1549	335
BVH	3	192969
Kd-tree	5	93308

FIGURE: Exemples de gains possibles sur la scène de Saint Berthevin avec des variantes des structures décrites précédemment. La scène comporte 4970 sources avec 100 rayons par source.

Remarques sur les structures accélératrices

- Pour chaque structure, il existe plusieurs variantes et optimisations.
- Il n'existe pas de structure tout terrain qui soit systématiquement la meilleure.
- Dans le ray tracing graphique, on a coutume de dire que le kd-tree est généralement la structure la plus efficace pour les scènes statiques (long à construire mais produit une structure de très bonne qualité) et le bvh pour les scènes animées (produit une structure de qualité légèrement moins bonne mais beaucoup plus rapidement)

Moteur générique de lancer de rayons

Parce que le lancer de rayons n'est pas attaché à une méthode acoustique

- Séparer la partie acoustique de la partie géométrique du lancer de rayons
- Donner une interface au développeur pour interagir avec le lancer de rayons aux points clés du processus
- Permet d'adapter le lancer de rayons à une méthode acoustique particulière sans s'introduire dans le code de la partie géométrique

Exemple de l'interface pour la NMPB 2008

- Un rayon qui touche le sol n'est pas prolongé
- Validation d'un rayon : vérification de l'ordre de réflexion/diffraction du rayon
- Fin du traitement : conversion du rayon en une entrée pour la dll NMPB 2008 puis ajout de la contribution sur le récepteur.

Intégration dans deux environnements de calcul acoustique

Le lancer de rayons dans l'environnement de test

- Visualisation de l'ensemble des résultats (coupe 2D du rayon, niveaux sonores des récepteurs, contribution d'un rayon, etc...)

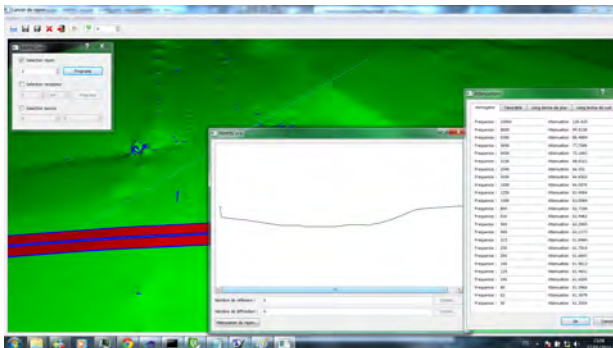


FIGURE: Visualisation d'un rayon sur la scène de Saint Berthevin avec la coupe de terrain associée et le calcul d'atténuation obtenu par la NMPB 2008

Présentation de Tympan

- Outil développé par EDF destiné aux études d'impact
- Permet la saisie de scènes et de bâtiments grâce à une interface de SIG.
- Initialement destiné au cas des sites industriels comme des centrales de production d'électricité, développements en cours pour intégrer des éléments routiers et ferroviaires (définition d'une route avec calcul de déblai/remblai, définition d'une voie de chemin de fer, etc...)
- Interface de solveur disponible pour intégrer différentes méthodes acoustiques.

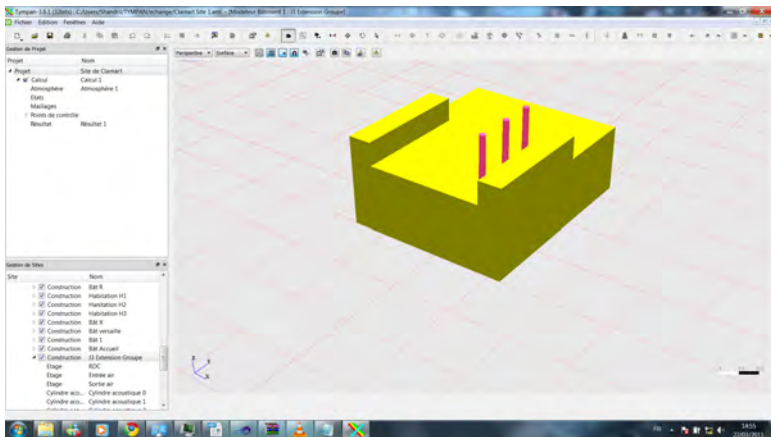


FIGURE: Exemple de définition d'un bâtiment dans l'interface Tympan

Intégration dans Tympan - EDF

- Intégration dans le code même de Tympan
- Intégration de la partie géométrique du lancer de rayons comme bibliothèque statique, utilisable par n'importe quel solveur de Tympan
- Intégration du solveur NMPB 2008 comme bibliothèque dynamique qui fait appel au lancer de rayons statique

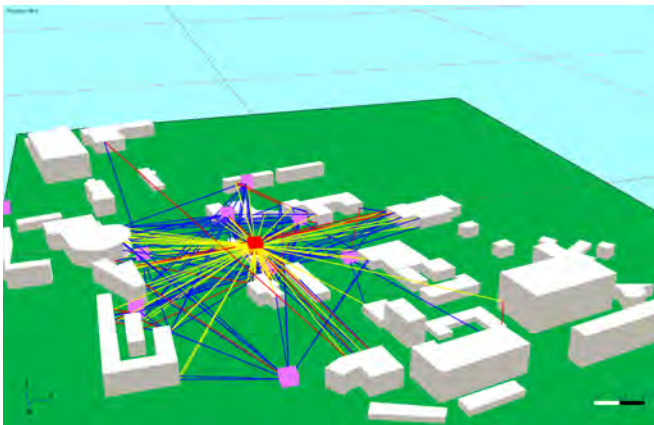


FIGURE: Exemple d'utilisation du lancer de rayons dans Tympan sur le site de Clamart - EDF. Scène de 1000 primitives traitée à environ 35000 rayons/sec. Les rayons jaunes correspondent aux rayons directs, les rayons bleus aux rayons diffractés et les rayons rouges aux rayons réfléchis.

Intégration dans ISimpa - IFSTTAR

- Intégration sous forme d'exécutable faisant la boucle lancer de rayons géométrique puis calcul acoustique
- Importation des données via un xml de configuration et une scène au format cbin fournis par ISimpa
- Exportation des résultats au format csv pour chaque récepteur pour les calculs de long terme.
- Interface de solveur toujours disponible pour le développeur si l'on veut utiliser différentes méthodes acoustiques utilisant le lancer de rayons dans ISimpa

Conclusion

Les acquis

- Grâce aux structures accélératrices, on est capable de traiter en 3D des scènes complexes en un temps raisonnable
- L'outil est suffisamment générique pour être utilisé par différentes méthodes acoustiques et dans différents environnements
- Profite pleinement des machines multi-coeurs

En développement

- Outils de définition d'objets routiers et ferroviaires dans l'environnement Tympan.
- Possible portage du lancer de rayons sur GPU