

## Simulateur pour l'étude de la visibilité dans les environnements enfumés.

Mickaël Ribardière

Dirigée par Kadi Bouatouch  
Encadrée par Samuel Carré

16 Décembre 2010



### Le contexte

#### La demande initiale

Réaliser un outil de simulation d'éclairage pour l'étude de la visibilité dans les environnements enfumés.

#### Thèse réalisée au CSTB

⇒ Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

- Département Acoustique et Éclairage ⇒ DAE
  - Réalise des études d'éclairage (simulation physique)
  - Logiciel de photo-simulation *Phanie* (méthode de *Radiosité*)

#### En collaboration avec l'équipe BUNRAKU de l'IRISA

### Objectif principal

#### Développer une méthode de résolution de l'illumination globale

- Dans des scènes contenant
  - Une géométrie complexe
  - De nombreuses sources artificielles et/ou naturelles
- physiquement réaliste
  - Pas de limitations sur le nombre de réflexions lumineuses
  - Grandeurs physiques photométriques définies par des spectres (40 longueurs d'ondes minimum)
- Scènes contenant des fumées
  - évoluant dans l'espace et le temps
- Calculs devant prendre en compte le déplacement de l'observateur

### Organisation du travail de thèse

#### 3 parties complémentaires

- Développement d'une nouvelle méthode de simulation d'éclairage
- Extension de cette méthode aux environnements enfumés
- Considérations des aspects dynamiques

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---









## Les gradients de translation

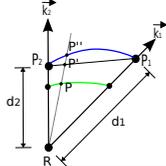
Interpolation linéaire entre 2 axes  $k_1$  et  $k_2$

$$E(P) = w_R(P) \cdot [\vec{E}_{k_1}(P) \cdot (1 - \tau) + \tau \cdot \vec{E}_{k_2}(P)]$$

avec  $\tau = \frac{\|\vec{P}_1\vec{P}'\|}{\|\vec{P}_1\vec{P}_2\|}$

Extrapolation d'éclairement due aux gradients translationnels

$$\vec{E}^{Tr}(P) = [\vec{E}_{k_1}(P) \cdot (1 - \tau) + \tau \cdot \vec{E}_{k_2}(P)]$$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Les gradients de rotation...

... déterminent les variations dues aux perturbations de normales

Cas des fortes variations

⇒ les gradients du 1<sup>er</sup> ordre donnent de mauvais résultats

Gradients de rotation du 2<sup>e</sup> ordre

Formulation de Taylor

$$\vec{E}(\alpha) = E(R) + G_k^{rot1} \Delta_\theta + \frac{1}{2} G_k^{rot2} \Delta_\theta^2$$

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Les gradients de rotation : l'interpolation

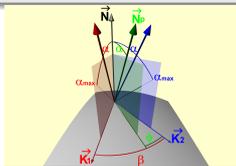
Extrapolation d'éclairement due aux gradients de rotation

$$\vec{E}^{Rot}(P) = \left[ \frac{\phi}{\beta} \cdot \vec{E}_{k_1}(\alpha) + \left( 1 - \frac{\phi}{\beta} \right) \cdot \vec{E}_{k_2}(\alpha) \right]$$

L'apport au point P d'un enregistrement R avec Tr et Rot

$$E_R(P) = w_R(P) \cdot (\vec{E}^{Tr}(P) + \vec{E}^{Rot}(P))$$

$$w_R(P) = \left( \frac{|\vec{R}\vec{P}'|}{|\vec{R}\vec{P}|} - 1 \right) \cdot \left( 1 - \frac{\alpha}{\alpha_{max}} \right)$$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

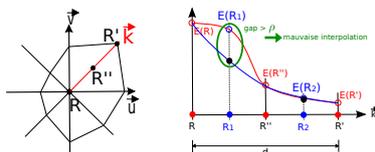
## Adaptation aux variations de l'éclairement

Des conditions d'éclairage difficiles à restituer (les ombres par exemple)

⇒ Ajuster la longueur des axes en fonction de la validité des gradients

comparaison entre une valeur interpolée et une valeur calculée à l'aide des sources ponctuelles équivalentes

⇒ Contrôle de la pertinence de l'interpolation à l'aide d'un critère de précision défini par un seuil  $\rho$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





## De nombreuses méthodes existantes

Méthodes à base de tracé de chemins  
⇒ réduction de la variance très coûteuse



10 échantillons

100 échantillons

1000 échantillons



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## De nombreuses méthodes existantes

Méthodes à base de *Photon Mapping*

Nécessité d'un très grand nombre de photons (plusieurs millions)  
L'intégration des photons est très coûteuse

Volumé Photon Mapping (1998)

Beam Radiance Estimate (2008)



Jensen et Christensen

Jarosz et al.

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## De nombreuses méthodes existantes

Méthodes de type *Cache de Luminance*

[W. Jarosz et al. : Radiance caching for participating media. ACM Trans. Graph. 2008]

Manipulation de tout type de milieux participatifs

- homogène et hétérogène
- isotrope et anisotrope

### Problèmes

- Difficile à mettre en œuvre  
⇒ 4 caches de luminances à maintenir
- La diffusion multiple est incomplète  
⇒ seulement 3 réflexions lumineuses dans la fumée
- Comment les enregistrements sont-ils créés dans le volume ?

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Le cache d'éclairage volumique

### Première contribution

Stocker l'ensemble des contributions dans la structure enregistrement  
- diffusion multiple  
- diffusion simple : sources primaires et secondaires

⇒ Enregistrements adaptatifs volumiques

- Adaptation de la zone d'influence
  - à la proximité des objets environnants
  - aux variations d'éclairage
- Gradients du second ordre

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Notes

Mêmes gradients de translation que pour les surfaces  
⇒ Réutilisation du concept de sources ponctuelles équivalentes

$$E(P) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{I_i^{eq}(\vec{\omega}_i)}{d_i^2} V_{tr}(x_i, P)$$

avec

$$V_{Tr}(x_i, P) = V(x_i, P)\tau(x_i, P)$$

Gradients de rotation ne sont plus nécessaires

---

---

---

---

---

---

---

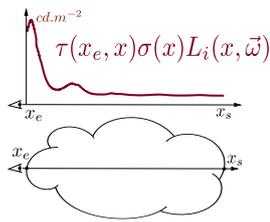
---

---

---

Notes

### Vue générale du processus d'ajout




---

---

---

---

---

---

---

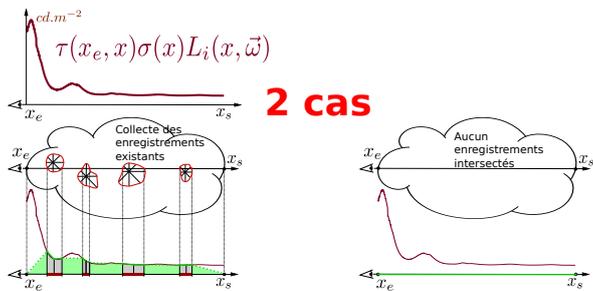
---

---

---

Notes

### Vue générale du processus d'ajout




---

---

---

---

---

---

---

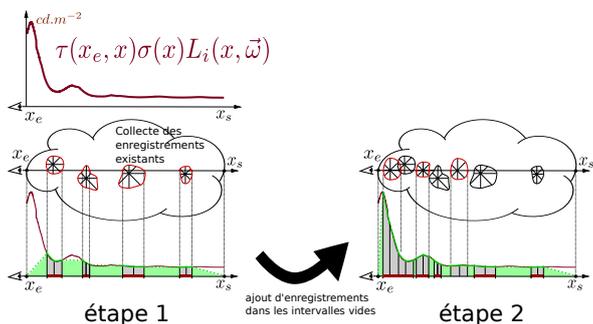
---

---

---

Notes

### Vue générale du processus d'ajout



Si  $\frac{|L_{\text{etape2}}(x_e, \vec{\omega}) - L_{\text{etape1}}(x_e, \vec{\omega})|}{L_{\text{etape1}}(x_e, \vec{\omega})} \geq \chi$  le processus continue

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





## D'autres résultats

Notes

---

---

---

---

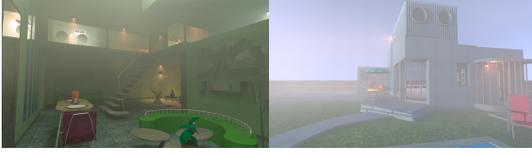
---

---

---

---

## Scène de la Villa Arpel



## Conclusion

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Adaptation du cache d'éclairage aux milieux participatifs

### Cache d'éclairage volumique à enregistrements adaptatifs

- Prise en compte des diffusions simple et multiple
- Redéfinition des zones d'influence pour le volume

### Contrôle de la création des enregistrements volumiques

- En fonction de l'éclairage
- En fonction des caractéristiques photométriques du milieu

## Problématique d'une simulation dynamique

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

Simulation d'éclairage en présence de milieux participatifs dynamiques

### Évolution de la fumée

- ⇒ implique un changement d'éclairage
- ⇒ nécessite de recalculer les informations photométriques

### Déplacement de l'observateur

- ⇒ Nouvelles parties de la scène deviennent visibles

## Les effets de flickering

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

### 1<sup>re</sup> idée

Recalculer l'éclairage pour chaque nouvelle image

- ⇒ Très coûteux en temps de calcul
- ⇒ effets de scintillement (*flickering*)

instant 1

instant 2

instant 3







## Adaptation de la durée de vie

Notes

### Problème

Une durée de vie fixe  $\Delta T^{max}$  ?

- Quelle valeur fixer ?
- Risque de mal restituer les fortes variations temporelles

### Solution

Adaptation de la durée de vie :

- à la visibilité de l'enregistrement par l'observateur
- à la photométrie

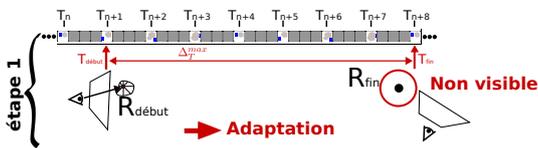
## Adaptation à la visibilité

Notes

### visibilité ?

Durée pendant laquelle l'enregistrement est visible par l'observateur

Vérifier la visibilité de l'enregistrement en  $\Delta T^{max}$



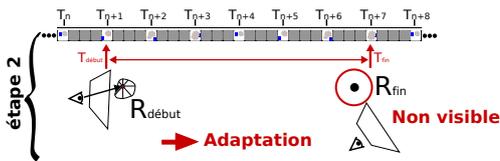
## Adaptation à la visibilité

Notes

### visibilité ?

Durée pendant laquelle l'enregistrement est visible par l'observateur

Diminuer la durée de vie d'un instant clé et vérifier de nouveau la visibilité



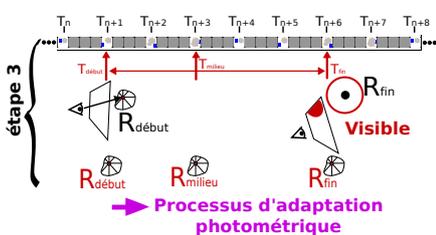
## Adaptation à la visibilité

Notes

### visibilité ?

Durée pendant laquelle l'enregistrement est visible par l'observateur

Lorsque l'enregistrement est visible : arrêter le processus d'adaptation à la visibilité





## Le cache d'éclairage volumique

### Gains

- Prise en compte de toutes les interactions lumineuses dans le volume
- Meilleure répartition des enregistrements dans le volume
- Meilleur contrôle de la précision
- Accélération de la phase de rendu (si intégration du direct)

### Limite

- Pour le moment : méthode limitée aux milieux isotropes

## Le cache d'éclairage spatio-temporel

### Gains attendus

- Suppression des effets de scintillements
- Accélération des temps de calcul
- Possibilité d'étendre la méthode aux objets dynamiques

## Perspectives et travaux futurs

### À court terme

- Validation de la méthode de cache d'éclairage spatio-temporel
- Extension des méthodes
  - ⇒ aux objets brillants (pour le cache surfacique)
  - ⇒ aux milieux anisotropes (pour le cache volumique)

### ⇒ Publications en cours d'écriture

- Parallélisation des calculs

### À moyen terme

- Visualisation interactive des résultats  
thèse en cours au CSTB

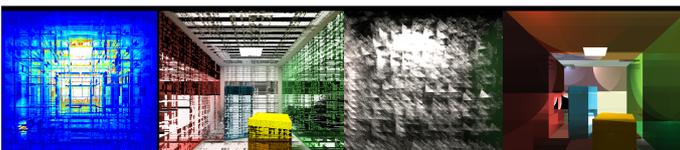
### Autre angle de recherche

- Caractérisation photométrique des fumées
- Restitution des résultats (restitution haute dynamique, aspects psychosensoriels...)

## Remerciements

### Un grand merci à

- Samuel
- Kadi
- Toute l'équipe éclairage : Édith, Amélie, Michel P., Michel G. et Nicolas
- François Demouge (DSSF)
- et à tous ceux qui m'ont apporté leur soutien : les amis, la famille et surtout Sophie.



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---