Techniques d'illumination globales

Babahenini Med Chaouki (Chaouki.Babahenini@gmail.com)

Cours de master Images et Vie Artificielle. M2

Université Mohamed Khider Biskra

2014 - 2015

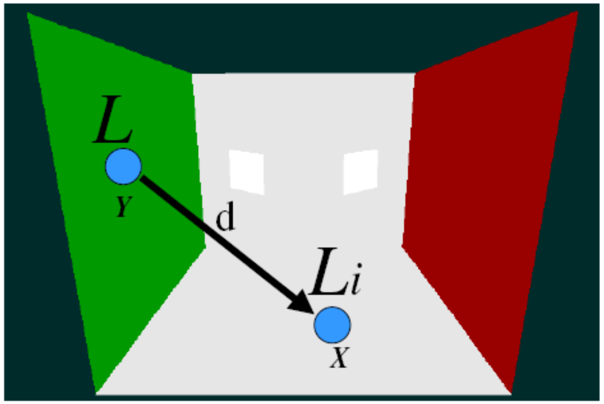
Équation de l'éclairage:
- difficile à résoudre

- Équilibre énergétique :

$$\boxed{L(x,\theta_0,\varphi_0)} = L_e(x,\theta_0,\varphi_0) + \int_\Omega \rho_{bd}(x,\theta_0,\varphi_0,\theta,\varphi)\boxed{L_i(x,\theta,\varphi)}\cos\theta d\omega$$

- Luminance totale = Luminance émise + Luminance réfléchie

$$Li(X,d)=L(Y,d)$$



Résolution formelle de l'équation

- Opérateur de réflexion
  - Opérateur intégral *R*
  - Opère sur la distribution de radiance
  - Défini par :

$$(RL)(x, \theta_0, \varphi_0) =$$

$$\int_\Omega \rho_{bd}(x, \theta_0, \varphi_0, \theta, \varphi) L_i(x, \theta, \varphi) \cos \theta \, d\omega$$

Solution formelle (2)

- L'équation devient :
  $L = L_e + R.L = L_e + R.(L_e + R.L) = L_e + R.L_e + R^2.L$
- Donc :

$$L = [I - R]^{-1} L_e$$

- $L = \underbrace{L_e}_{\text{direct}} + \underbrace{R.L_e}_{1^{\text{er}}\text{ Rebond}} + \underbrace{R^2.L_e}_{2^{\text{ème}}\text{ Rebond}} + \underbrace{R^3.L_e}_{3^{\text{ème}}\text{ Rebond}} + \ldots$

- En utilisant une série de Neumann :

$$L = \sum_{n=0}^{\infty} (R^n) L_e$$

Qu'est-ce que cette équation représente?

Interprétation physique

$$L = \sum_{n=0}^{\infty} (R^n) L_e$$

- Radiance émise (L_e)…
- plus radiance réfléchie une fois (RL_e)…
- plus radiance réfléchie deux fois (R^2L_e)…
- plus radiance réfléchie trois fois…

Concrètement, cette équation ?

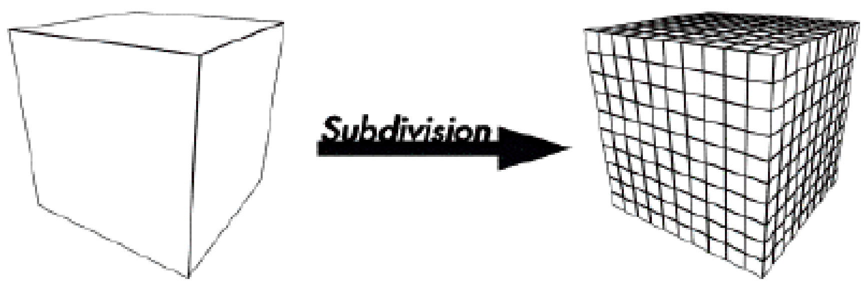
- Très joli… et complètement inutile
- Pas de solution analytique
- L'éclairage a des besoins spécifiques
  - Frontières d'ombre, reflets…
  - La résolution doit prendre en compte ces spécificités
- Hypothèses de simplification
  - ou résolution complète

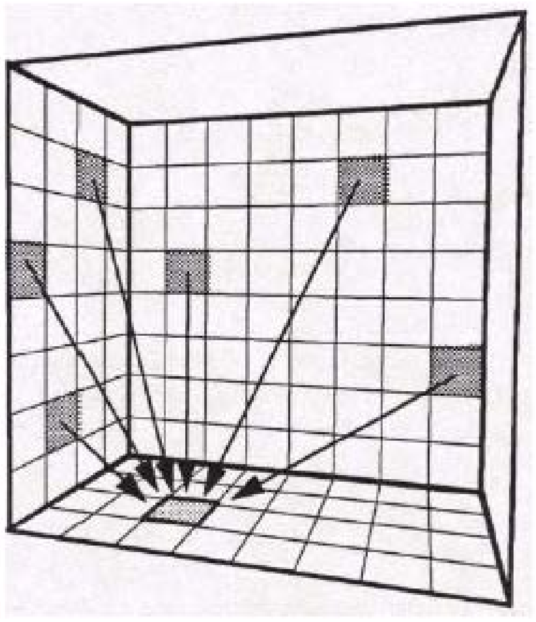
Radiosité

- mode de rendu d'images de synthèse qui permet d'obtenir des images d'une qualité photoréalistique.
- prend en compte toutes les interactions de lumière liées à la proximité de deux objets.
- simule les échanges de lumière entre les surfaces parfaitement lambertiennes (diffuses).
- Radiance, BRDF,… indépendantes de la direction
- Simplification de l'équation de rendu
- Discrétisation de l'équation simplifiée
- Résolution de l'équation discrétisée

Radiosité - méthode

- Diviser tous les objets de la scène en facettes (patches).
- Les sources lumineuses font partie de la scène comme facette émettant de l'énergie (lumière).
- Modéliser la scène comme un système d'équations représentant le transfert d'énergie entre les facettes.





Hypothèses de base de la radiosité

- L'énergie qui quitte une surface lambertienne (diffuse) correspond à sa radiosité B.
  - Surface lambertienne : réflexion diffuse seulement (uniforme dans toutes les directions) ; pas de réflexion spéculaire ; pas de transparence (opaque).
- La scène est divisée en facettes (ou patches) discrètes où la lumière émise et réfléchie est supposée uniforme sur toute sa surface.
- Les sources de lumières font parties des surfaces de la scène. Ce sont des facettes qui émettent de l'énergie.
- Aucun média non-solide participant et influençant le parcours de la lumière (par exemple le brouillard)

Radiosité

- L'énergie qui passe d'un point y à un autre point x de deux surfaces lambertiennes $f_r(x,\psi \rightarrow \theta) = \frac{\rho_d}{\pi}, 0 \leq \rho_d \leq 1$

s'exprime comme :

$$B(x) = E(x) + \rho_d(x) \int_{y \in S} B(y)\, V(x,y) \frac{\cos\theta \cos\theta'}{\pi r^2}\, dy$$

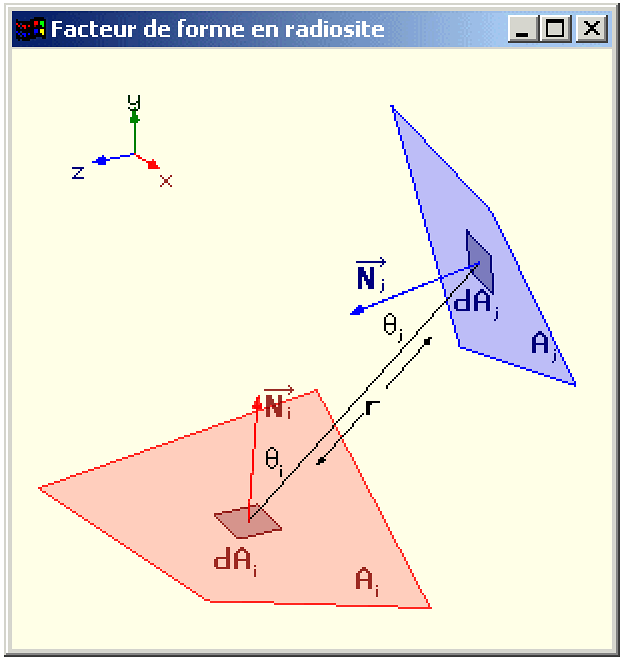
- *E(x)* est le flux de la lumière émis par *dx*.
- *B(x)*, *B(y)*: Radiosité des éléments *dx*, *dy*.
- *V(x,y)*: facteur de visibilité entre éléments *dx*, *dy*.
- ρ_d: Reflectivité de *dx*.

Équation simplifiée de la radiosité

$$Bi(x) = Ei(x) + \rho_{d_i}(x).\int_{y\in A_j} B(y).V(x,y).\frac{\cos\theta.\cos\theta'}{\pi.r^2}.dy$$

Le facteur de forme est défini comme étant:

$$F_{ij} = \int_{y\in A_j} \frac{\cos\theta.\cos\theta'}{\pi.r^2}.V(x,y).dy$$



Équation simplifiée de la radiosité

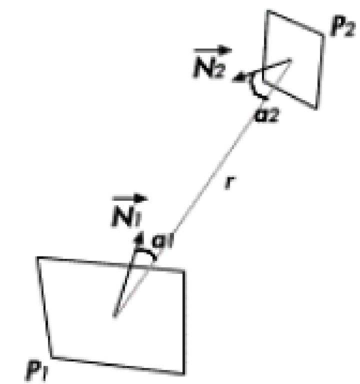
- Discrétisation de cette équation :

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^{n} F_{ij} B_j$$

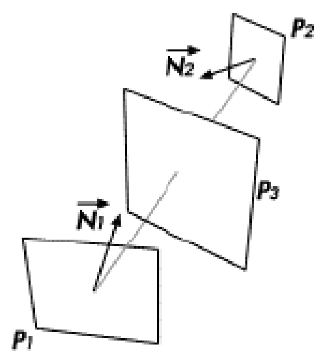
- La radiosité émise par une facette i (Bi) est égale à l'énergie auto-émise (Ei) plus la somme de toutes les radiosités reçues des autres facettes j pondérée par un facteur de ré-émission dépendant du matériau (ρi).
- L'énergie reçue par la facette i de la facette j est égale au produit de la radiosité émise par j multipliée par un facteur de forme Fji, dépendant de l'orientation relative de i et de j, de leur distance et de la présence d'autre objets entre les deux facettes (ou patches).

Facteur de forme

- F_{ij} : facteur de forme: fraction de la lumière quittant l'élément (ou facette) i et arrivant à l'élément j
- Dépend de plusieurs facteurs :
  - Forme des facettes i et j
  - Orientation relative des deux facettes
  - Distance entre les deux facettes
  - Occlusion par d'autres facettes (visibilité)
- Méthodes de calcul :
  - Quadratures
  - Approximation point-surface
  - Approximations discrètes (hémicube)



Cas d'occlusion entre deux facettes.



L'équation discrétisée

- Principe de réciprocité :

$$A_i F_{ij} = A_j F_{ji} \quad \Rightarrow \quad B_i - \rho_i \sum_n B_j F_{ij} = E_i$$

- On regroupe tous les éléments :

$$\begin{bmatrix} B_0 \\ \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_0 \\ \\ E_n \end{bmatrix} + \left[\rho_i F_{ij}\right] \begin{bmatrix} B_0 \\ \\ B_n \end{bmatrix}$$

- Ou, en utilisant des vecteurs :

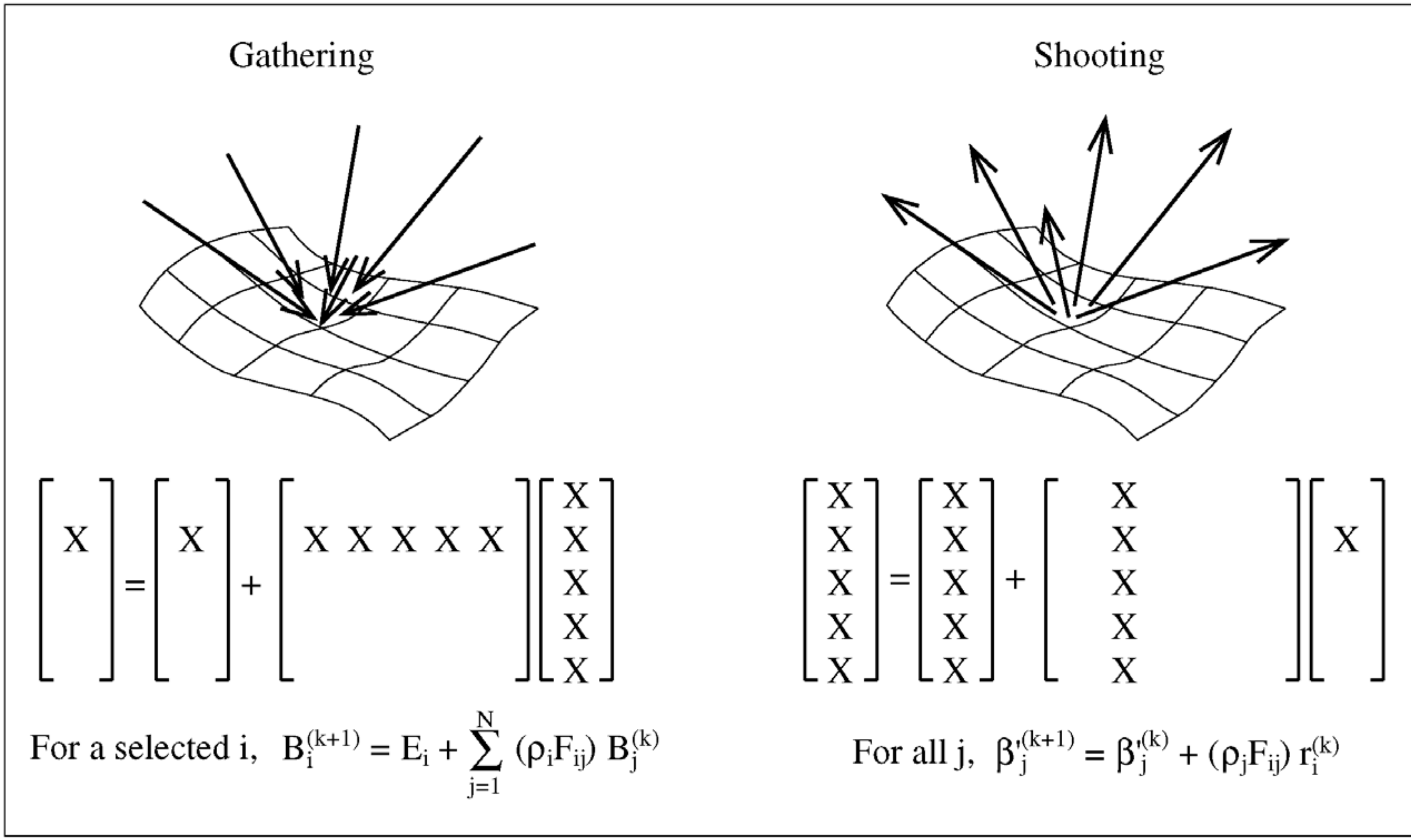
$$\mathbf{B} = \mathbf{E} + \mathbf{MB}$$

- Les inconnues de l'équation sont les Bi (couleurs des facettes).

Résolution de l'équation de radiosité

- La matrice à résoudre est énorme !
  - Facilement plus de 10 000 facettes dans l'image
    - donc une matrice 10 000 x 10 000 à résoudre
  - Chaque facette dépend de toutes les autres facettes
  - Chaque paire de facette possède un facteur de forme différent qu'il faut calculer (10 000 facettes = $10\,000^2$ facteurs de forme)
  - Impossible à calculer avec les moyens informatiques actuels
- On utilise des méthodes d'approximations itératives
  - Gathering
    - relaxation de Jacobi
    - relaxation de Gauss-Seidel
  - Shooting
    - relaxation de Southwell
  - A chaque itération, on s'approche de la solution exacte
  - On arrête le calcul
    - Seuil de temps : après une certaine période de temps
    - Seuil d'énergie : lorsque la majorité de l'énergie est répartie entre les facettes

Gathering *vs.* Shooting

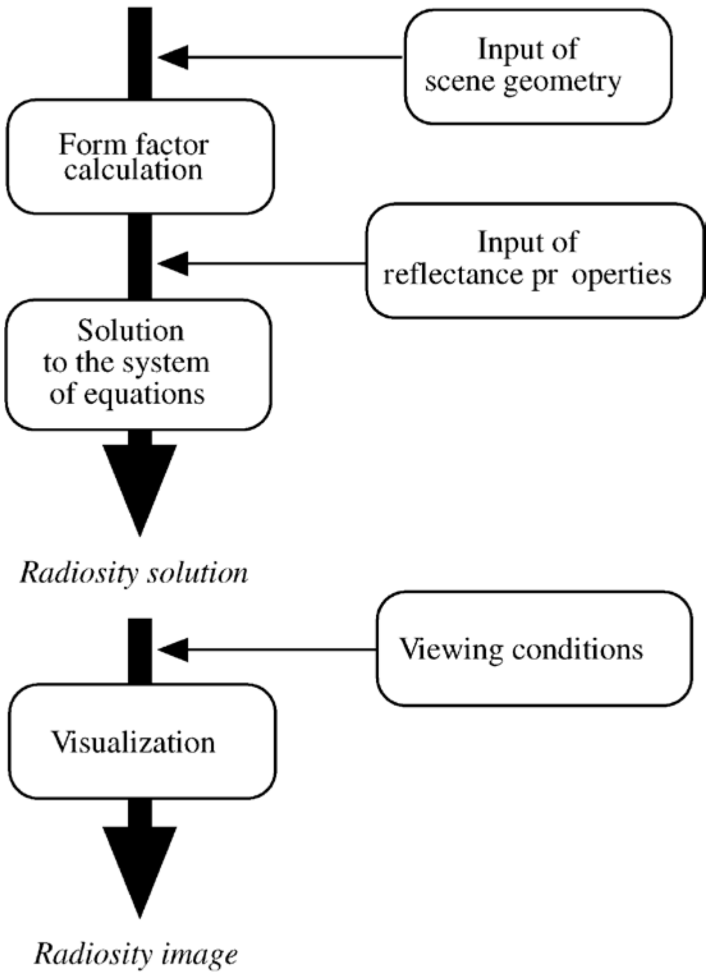


Gathering/shooting

- Shooting :
  - Premières images plus vite
  - Éclairage direct dans les premières itérations
  - Besoin de stocker l'énergie pas encore renvoyée
- Gathering :
  - Plus lent pour les premiers résultats
- Pour la convergence totale de la scène
  - même temps de calcul

Algorithme global de radiosité

- Modéliser la scène et sa géométrie
  - Diviser la scène en facettes (patches)
- Calculer tous les facteurs de forme
- Résoudre la matrice de radiosité
- Ajouter les conditions de visualisations
  - position et orientation de la caméra, type projection
- Projeter l'image 2D à partir de la scène 3D



Radiosité : avantages

- Toutes les surfaces sont diffuses
- Affichage en temps réel
  - en utilisant le Z-buffer
- Fonction continue :
  - calculer des valeurs aux sommets
  - interpolation entre les sommets
    - par Gouraud-shading (en hardware)

Radiosité : exemple

Radiosité : exemple (2)