



*Rendu réaliste en synthèse d'images.*

Le lancer de rayons



DESS I2N

- 1999-2000

- Lancer de rayons

## *Organisation*

### Introduction au lancer de rayons

- Principe
- Modèle d'illumination associé
- Algorithme récursif
- Limitations

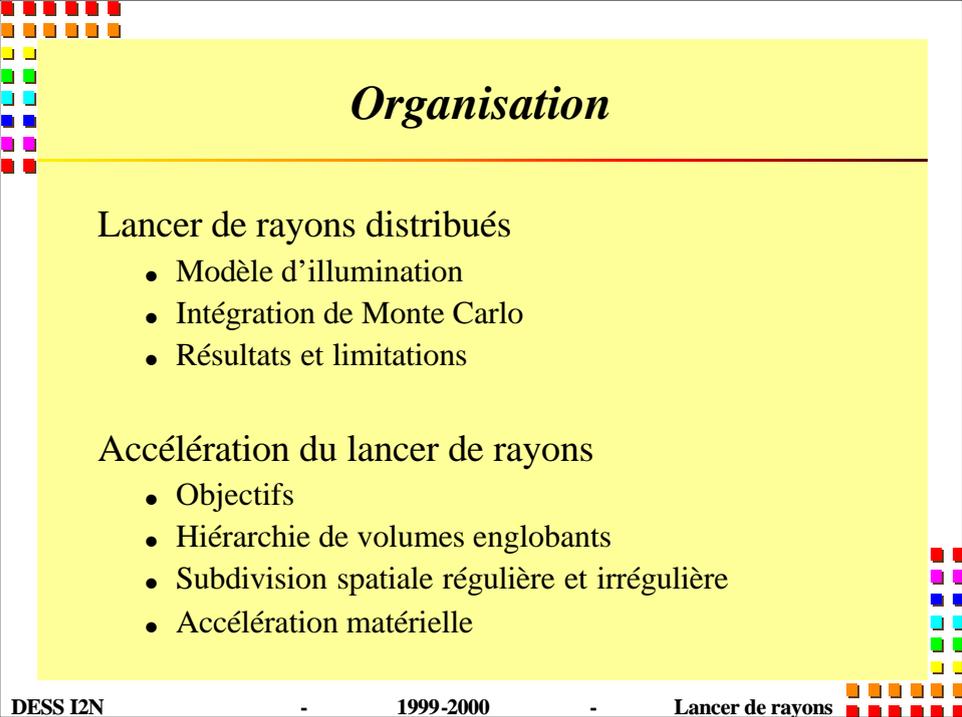
### Le lancer de faisceaux

- Principe
- Algorithme
- Résultats et limitations

DESS I2N

- 1999-2000

- Lancer de rayons



## *Organisation*

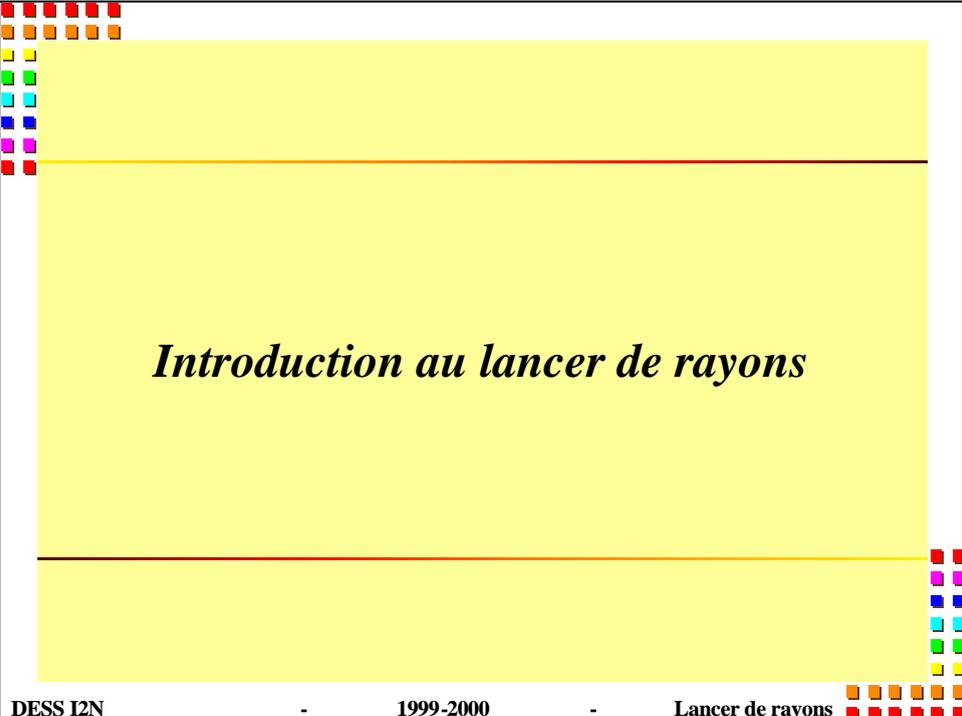
---

### Lancer de rayons distribués

- Modèle d'illumination
- Intégration de Monte Carlo
- Résultats et limitations

### Accélération du lancer de rayons

- Objectifs
- Hiérarchie de volumes englobants
- Subdivision spatiale régulière et irrégulière
- Accélération matérielle



## *Introduction au lancer de rayons*

---

---

## Objectifs

### Élimination des parties cachées [Appel 68]

- Travail dans l'espace objet.
- Indépendant de la géométrie.

### Détermination de l'éclairage [Witted 80]

- Fondé sur les lois d'optique géométrique
- Ombres propres et ombres portées.
- Inter-réflexions lumineuses.

DESS I2N

- 1999-2000

- Lancer de rayons

## Principe géométrique

### Ligne œil-pixel

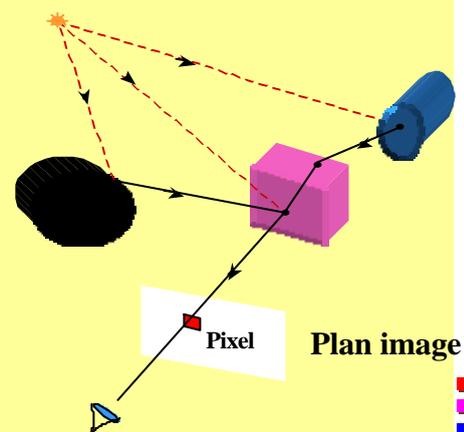
- Objet visible

### Rayons lumineux

- Couleur du pixel

Impossible de suivre tous les rayons lumineux

Trajet inverse des rayons lumineux



DESS I2N

- 1999-2000

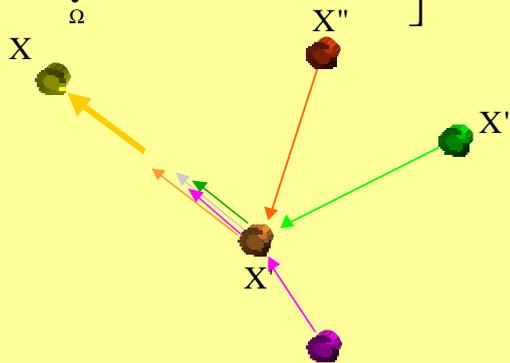
- Lancer de rayons

## Modèle d'éclairage

Equation du rendu

$$L(x, x') = g(x, x') \left[ \varepsilon(x, x') + \int_{\Omega} \rho(x, x', x'') L(x', x'') dx'' \right]$$

Permet de déterminer  
la luminance incidente  
en X



DESS I2N

1999-2000

Lancer de rayons

## Modèle d'éclairage

Simplification directionnelle

$$I(x') = \varepsilon(x') + \int_{\Omega} \rho(x, x', x'') g(x', x'') I(x'') dx''$$

Pour simuler l'ombrage sur les objets

Prise en compte des sources lumineuses

$$S = \{d_i / L(d_i) \neq 0\}$$

• Prise en compte des réflexions et transmissions

$$S' = S \cup \{d_i / d_i = R \vee d_i = T\} \quad \Omega' = \Omega - S$$

DESS I2N

1999-2000

Lancer de rayons

## Modèle d'éclairage

- Prise en compte des autres direction

$$\text{Nouveau terme ambiant : } A'(x') = \int_{\Omega'} \rho(x, x', x'') g(x', x'') I(x'') dx''$$

$$\text{Par définition de } \Omega' : A'(x') = 0$$

$$\text{On pose alors : } A(x') \approx \bar{\rho}(x') I_a$$

## Modèle d'éclairage

Expression du modèle :

$$I(x') = \varepsilon(x') + \sum_{s'} \rho(x, x', d_i) g(x', p_i) I(p_i) + A'(x')$$

$$p_i = x' + td_i$$

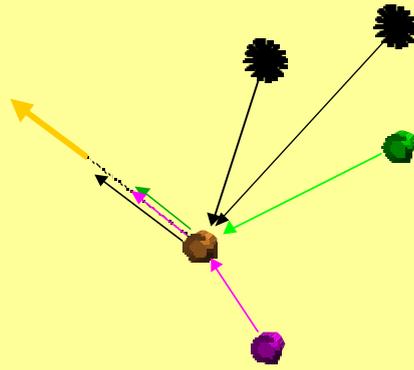
$$g(x', p_i) = \frac{\partial(x, p_i)}{d(x, p_i)^2}$$

## Modèle d'éclairage

### Intensité lumineuse sur un rayon

- Modèle local
- Reflets spéculaires

$$I_R = I_{\text{Local}} + k_s I_{\text{Refl}} + k_t I_{\text{Trans}}$$



DESS I2N

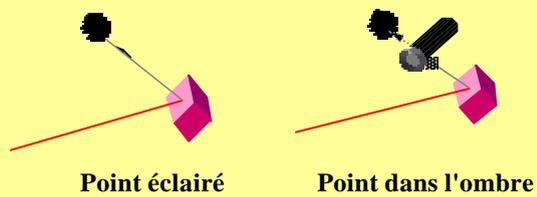
1999-2000

Lancer de rayons

## Modèle d'éclairage

### Modèle Local :

Calcul des ombres portées



DESS I2N

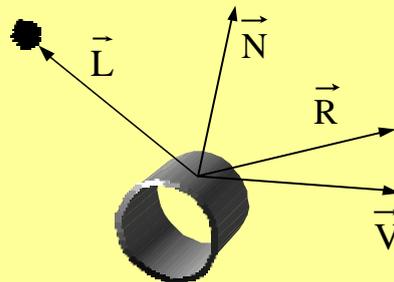
1999-2000

Lancer de rayons

## Modèle d'éclairage

Modèle Local :

$$I_{\text{local}} = \sum_{i=0}^{\text{nbLum}} I_i \times \frac{\text{vis}(i)}{d_i^2} \times \left( \rho_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) + \rho_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^n \right)$$



DESS I2N

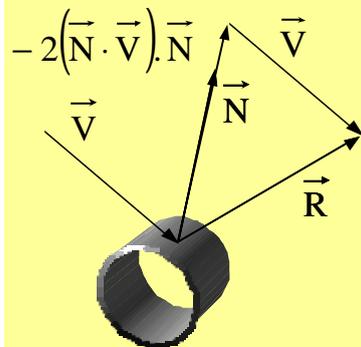
1999-2000

Lancer de rayons

## Modèle d'éclairage

Reflets spéculaires :

Calcul du rayon réfléchi



$$\vec{R} = -2(\vec{N} \cdot \vec{V}) \cdot \vec{N} + \vec{V}$$

DESS I2N

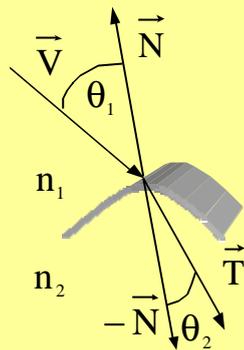
1999-2000

Lancer de rayons

## Modèle d'éclairage

Reflets spéculaires :

Calcul du rayon réfracté



Utilisation de la loi de Descartes :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

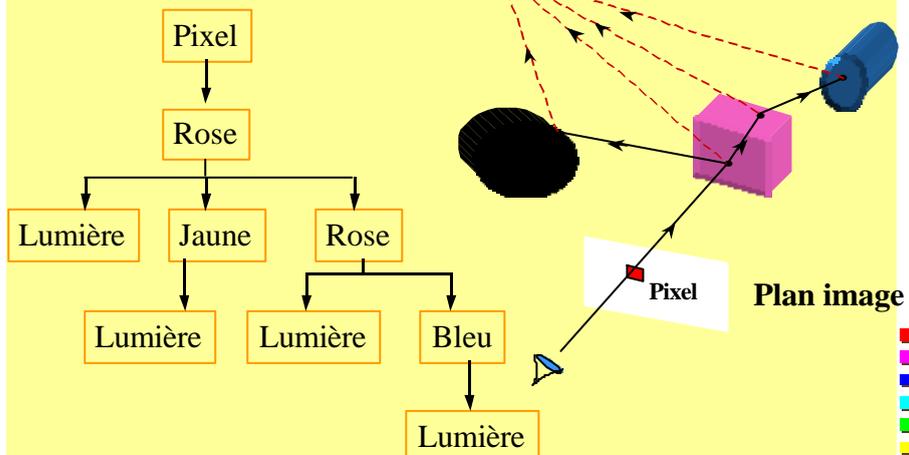
DESS I2N

1999-2000

Lancer de rayons

## Modèle d'éclairage

Arbre de rayons



DESS I2N

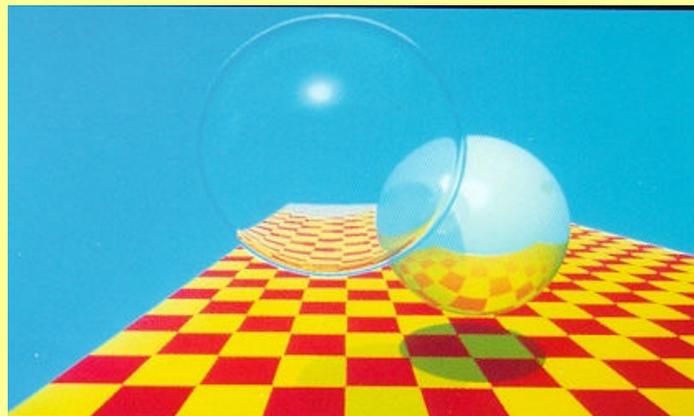
1999-2000

Lancer de rayons

## Algorithme

```
Couleur LR(origine,direction,profondeur)
// origine et direction sont des vecteurs de R3
Si profondeur>Max_Prof Alors
  couleur=Noir; // choix discutable mais que mettre ?
Sinon
  --Calcul et tri des intersections
  Si intersection Alors
    Calcul du Ilocal (C_locale);
    Calcul du rayon réfléchi (D_réfléchi);
    Calcul du rayon réfracté (D_réfracté);
    C_réfléchi = LR(Pt-inter, D_réfléchi,profondeur+1);
    C_réfracté = LR(Pt-inter, D_réfracté,profondeur+1);
    couleur = Somme des 3 composantes couleurs;
  Sinon
    couleur = couleur de fond;
```

## Résultat



## *Critiques du Lancer de Rayons*

---

Pas d'éclairage indirect

- Les sources sont visées explicitement

**Miroir**

DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

## *Critiques du Lancer de Rayons*

---

Eclairage diffus mal représenté

- Seules deux directions sont prises en compte

**Platre**

DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

## *Critiques du Lancer de Rayons*

---

Aliassage et disparition de petits objets

DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

## *Critiques du Lancer de Rayons*

---

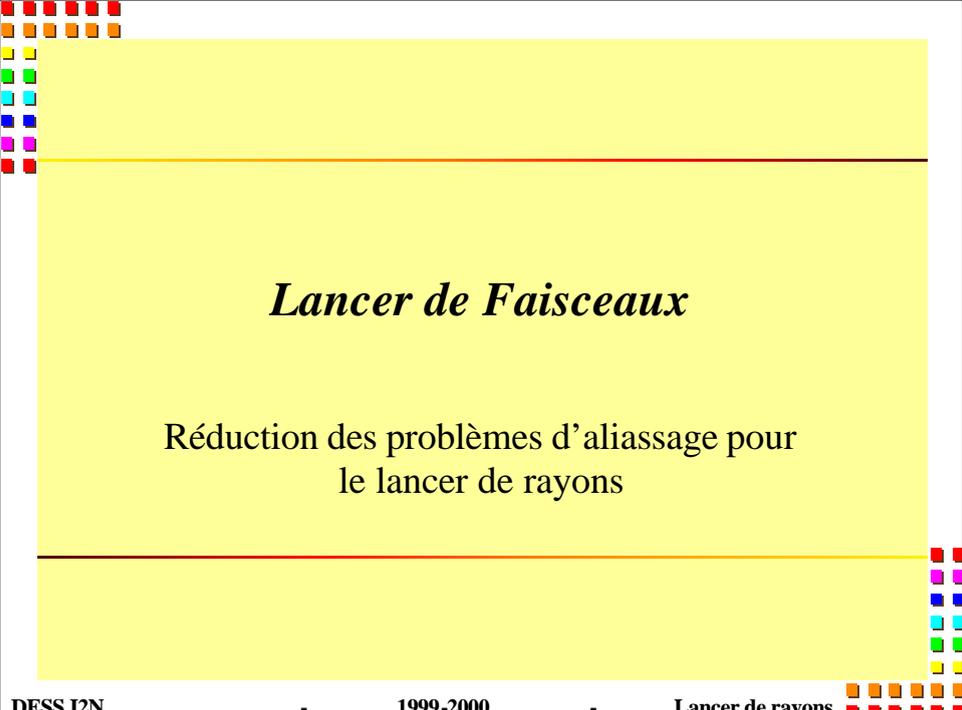
Temps de calcul important

- Intersections
- Nombre de rayons

Illumination calculée dans l'espace image

- Stockage au niveau du pixel
- Recalculée pour chaque image

DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons



## *Lancer de Faisceaux*

Réduction des problèmes d'aliasage pour  
le lancer de rayons

DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons



## *Le lancer de faisceau*

Objectifs :

- réduire l'aliasage de l'image
  - Echantillonner correctement l'écran
  - Peu de rayons dans le vide
  - De nombreux rayons dans les régions image complexes
- Utiliser la cohérence de la scène et des rayons
  - De nombreux rayons suivent des chemins voisins
  - Un objet recouvrant un pixel peut recouvrir les voisins

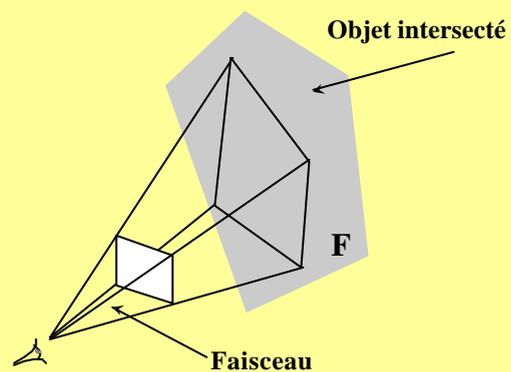
DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

## *Le lancer de faisceau*

Familles de solutions :

- Ensemble de rayons d'épaisseur infinitésimale [Sinya 87]
- Algorithmes fondés sur des rayons volumiques
  - Cônes [Amanatides 84]
  - Pyramides [Heckbert 84]
- Algorithmes hybrides (1) + (2) [Marks 88], [Ghanzanfarpour 92]

## *Le lancer de faisceau*

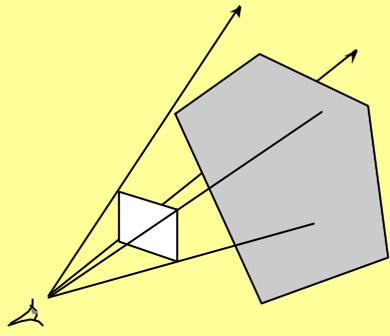
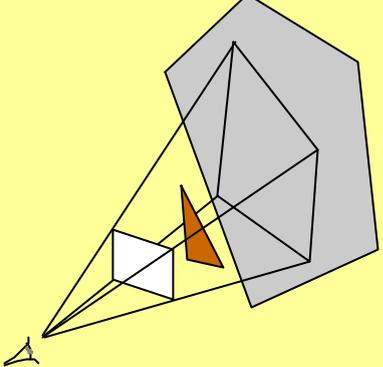


**Le faisceau primaire  
rencontre un seul polygone**

**La couleur des pixels est  
celle de l'objet**

*Le lancer de faisceau*

---

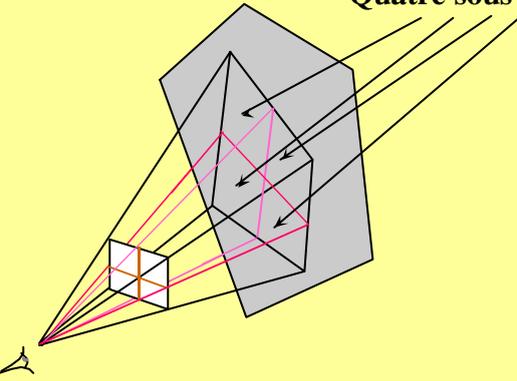



**Le faisceau primaire rencontre un ou plusieurs polygones partiellement**      **Couleur des pixels de l'écran ?**

DESS I2N      -      1999-2000      -      Lancer de rayons

*Le lancer de faisceau*

---



**Quatre sous faisceaux**

**Deux solutions :**

- Subdivision de l'écran
- Utilisation d'un L.R

DESS I2N      -      1999-2000      -      Lancer de rayons

## *Le lancer de faisceau*

Critère de choix entre une subdivision et un LR :

$$C = F \frac{16 * F_w - D}{E_w^2 D}$$

**F** nombre total de polygones dans la scène

**D** profondeur de la scène

**F<sub>w</sub>** nombre de polygones dans le faisceau

**E<sub>w</sub>** largeur de l'écran en pixels

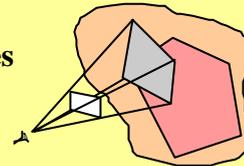
## *Intersection scène-faisceau*

Positionnement d'un objet par rapport au faisceau

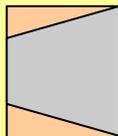
Intersection arêtes faisceau-plan polygones

+

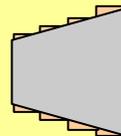
intersections 2D entre polygones



Subdivision spatiale régulière



Subdivision régulière de la  
boite englobante

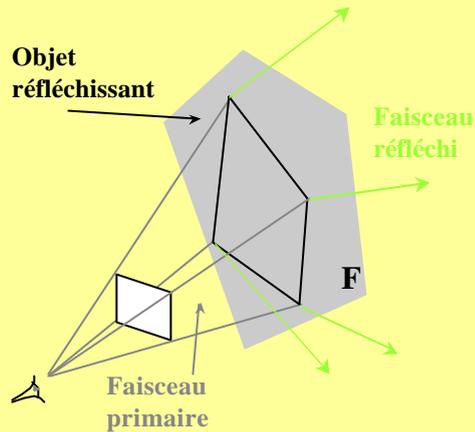


Optimisation

## Traitement de la réflexion

La réflexion est une transformation linéaire

Calcul et traitement du faisceau réfléchi



DESS I2N

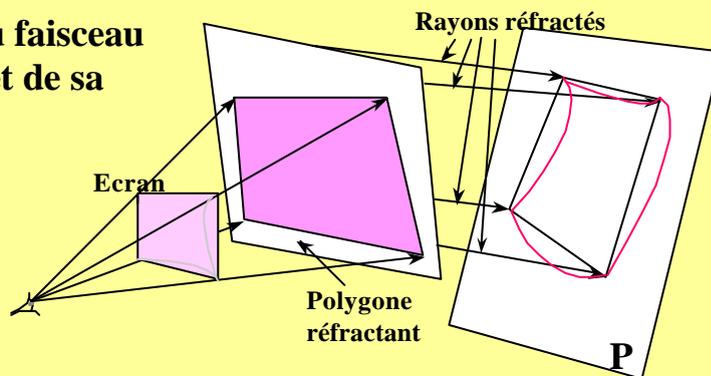
1999-2000

Lancer de rayons

## Traitement de la réfraction

La réfraction n'est pas une transformation linéaire

Calcul du faisceau réfracté et de sa courbure



DESS I2N

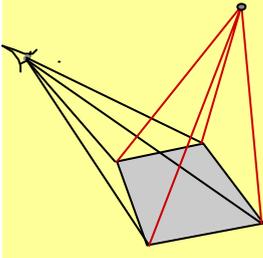
1999-2000

Lancer de rayons

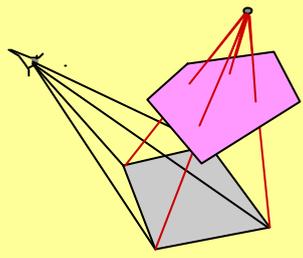
## Traitement des ombres portées

---

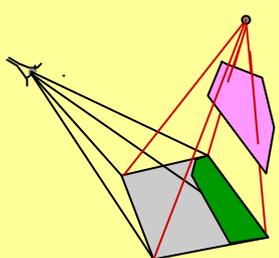
**Traitées par un LR conventionnel ou par LF**



**Faisceau d'ombre vide**



**Faisceau d'ombre totalement bloqué**

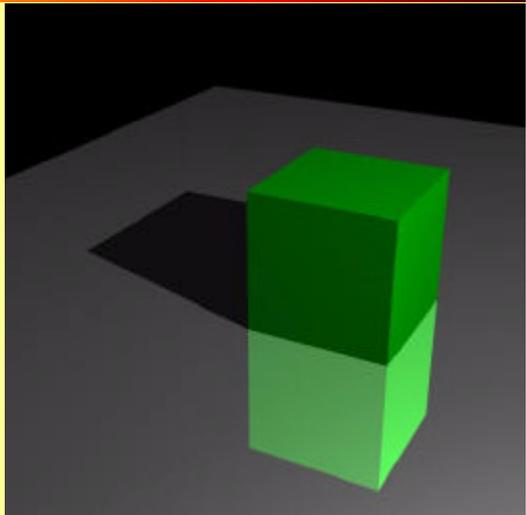


**Faisceau d'ombre partiellement bloqué**

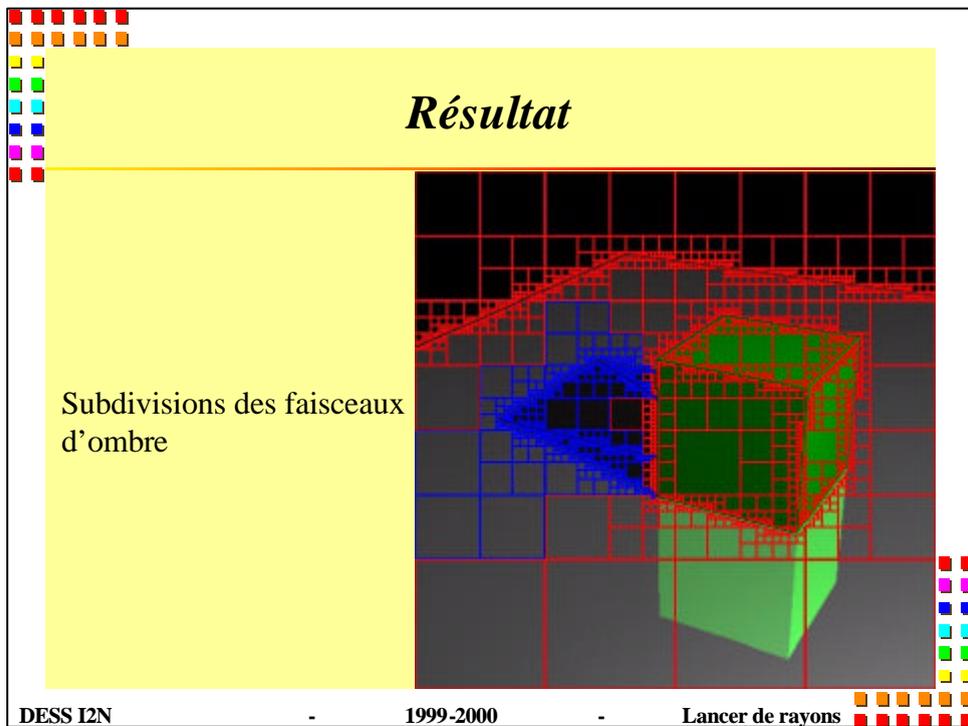
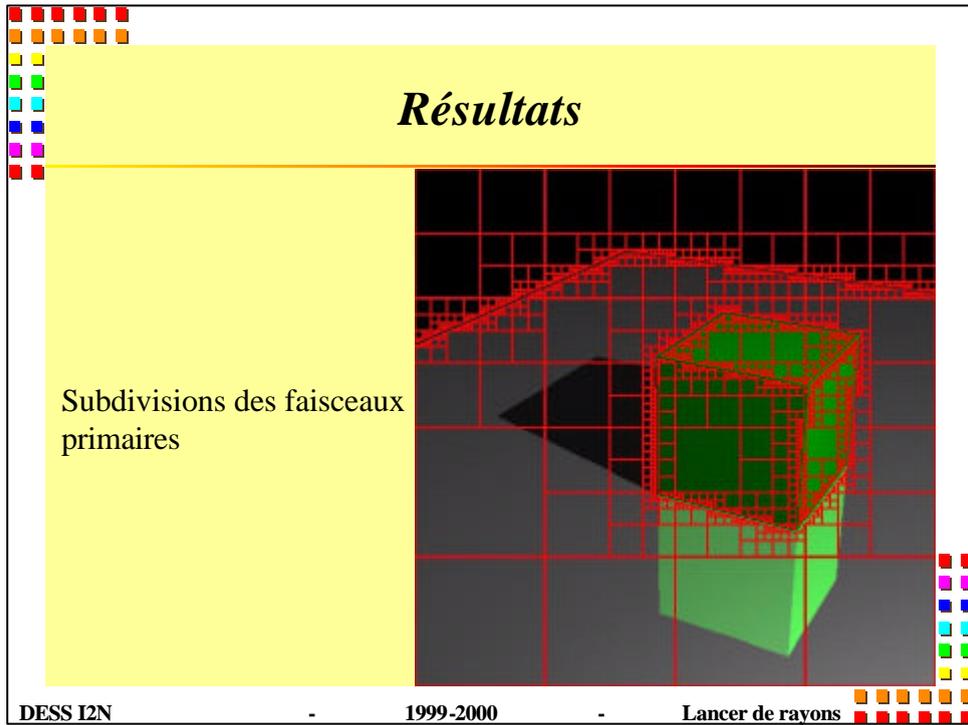
DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

## Résultats

Image calculée par lancer de faisceau

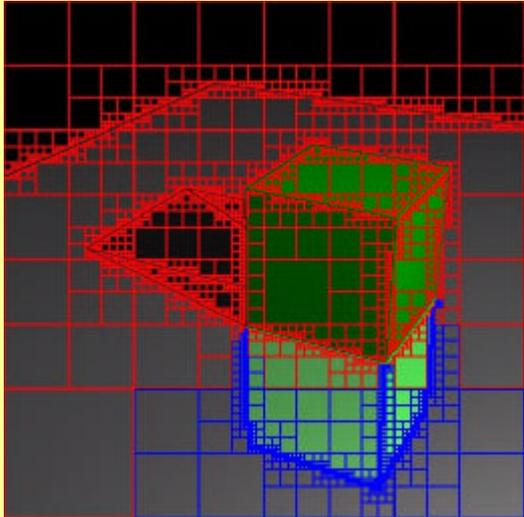


DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons



*Résultat*

Subdivisions des faisceaux réfléchis

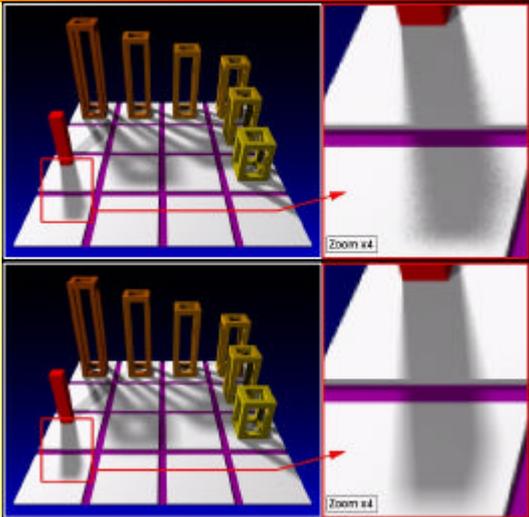


DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

*Analyse*

Lancer de rayons distribués : pénombre bruitée.

Lancer de faisceaux : pénombre correcte.



DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

*Analyse*

DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

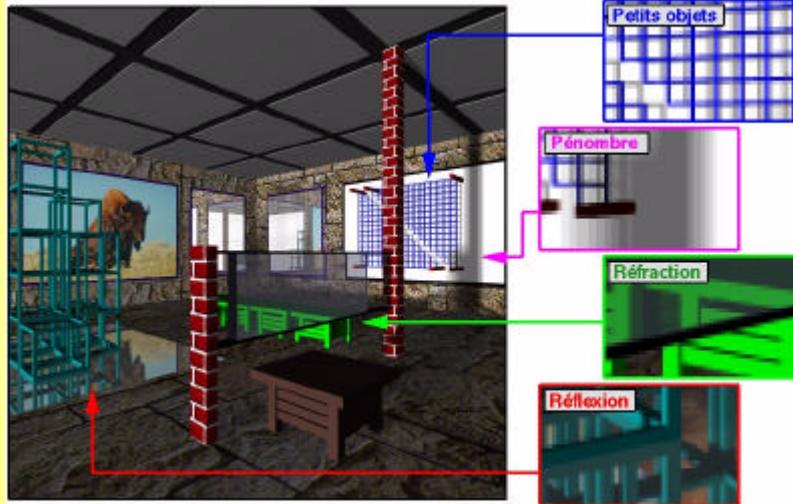
*Analyse*

Lancer de rayons :  
Disparition de petits objets.

Lancer de faisceaux :  
pas de perte de précision.

DESS I2N - 1999-2000 - Lancer de rayons

# Bilan



DESS I2N

-

1999-2000

-

Lancer de rayons