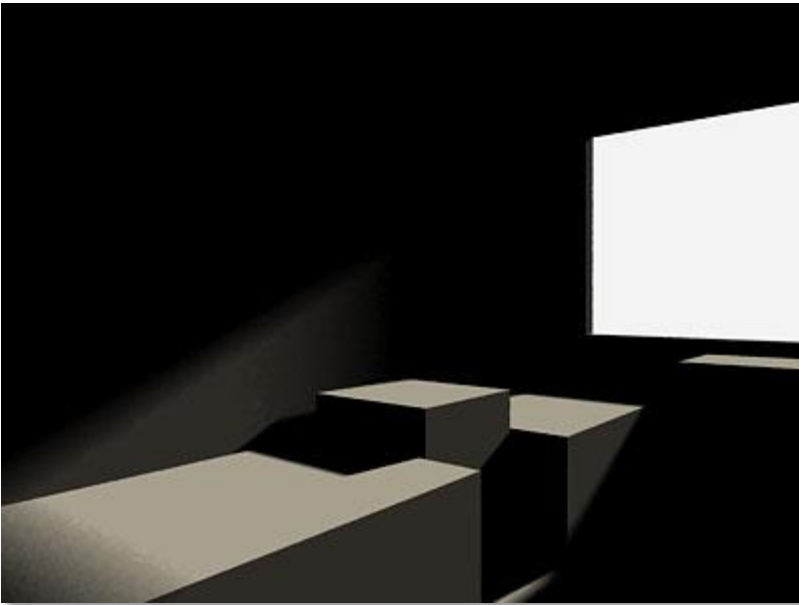


# **Illumination globale**

# Éclairage direct vs. indirect



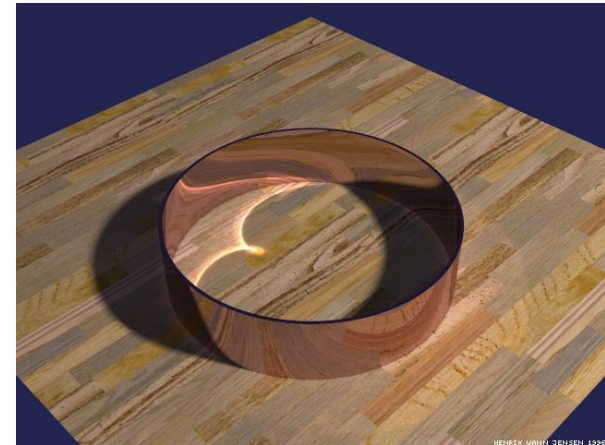
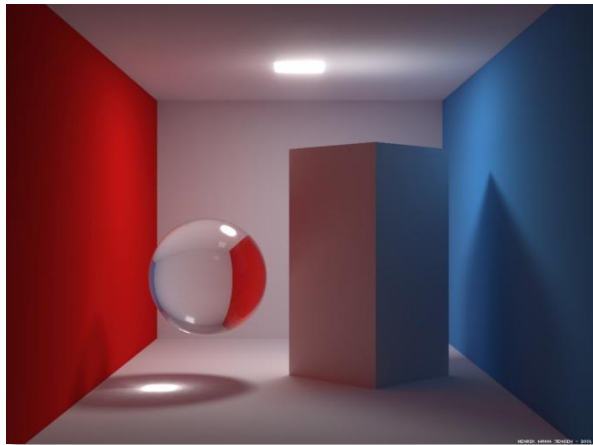
**Direct :**  
propriétés locales



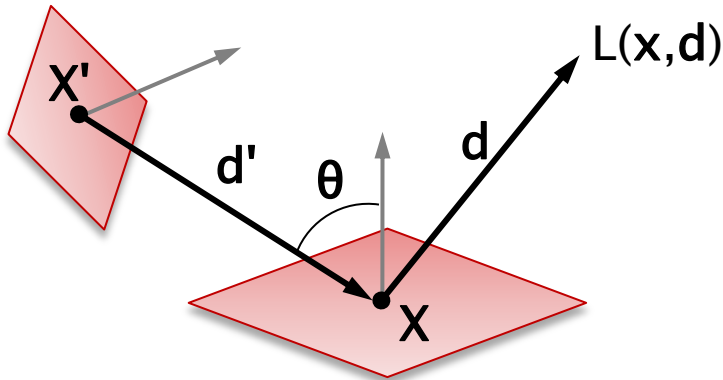
**Indirect :**  
problème global

# Illumination globale

- ▶ Interactions entre objets
- ▶ Transport de la lumière
- ▶ Réflexions, réfraction, diffusion
- ▶ Conservation de l'énergie lumineuse



# Équation de l'éclairage



$$\underbrace{L(x,d)}_{\text{Radiance}} = \underbrace{E(x,d)}_{\text{Émittance}} + \int_S \underbrace{\rho(x,d,d')}_{\text{Réflectance}} \underbrace{v(x,x')}_{\text{Visibilité}} \cos(\theta) dL(x,d')$$

Radiance    Émittance    Réflectance    Visibilité  
Watt/m<sup>2</sup>/sr

- ▶ Énergie lumineuse en un point =  
    énergie émise + énergie réfléchie

**Solution formelle : impossible !!!**

# Trois approximations

## ▶ Lancé de rayon

- Lois de l'optique
- Tous les objets sont spéculaires



## ▶ Radiosité

- Transferts d'énergie entre tous les objets
- Tous les objets sont diffus



## ▶ Monte Carlo

- Approche probabiliste



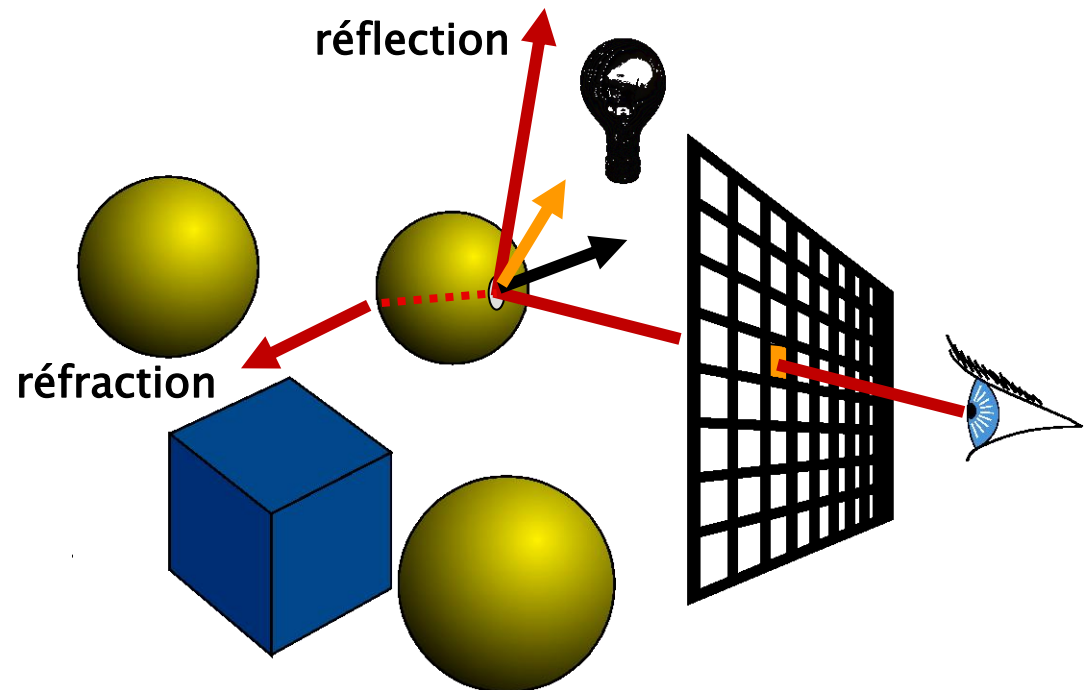
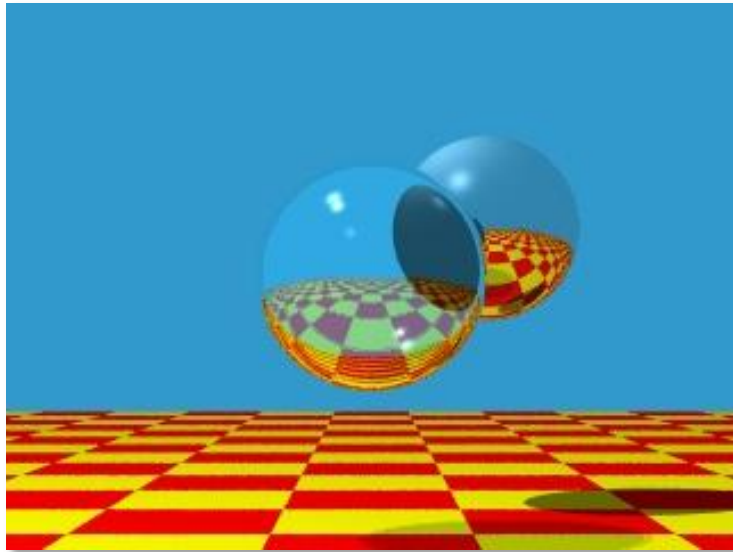
# Lancer de rayon

# Lancer de rayon

- ▶ **Ray casting, ray tracing** : rayons imaginaires du point d'observation vers la scène.
- ▶ Un rayon est lancé pour chaque pixel de l'image.
- ▶ La couleur du pixel est déterminée à partir de l'illumination du point de la surface intersectée par le rayon.
- ▶ On peut pour cela utiliser les modèles d'illumination locale (Gouraud, Phong).

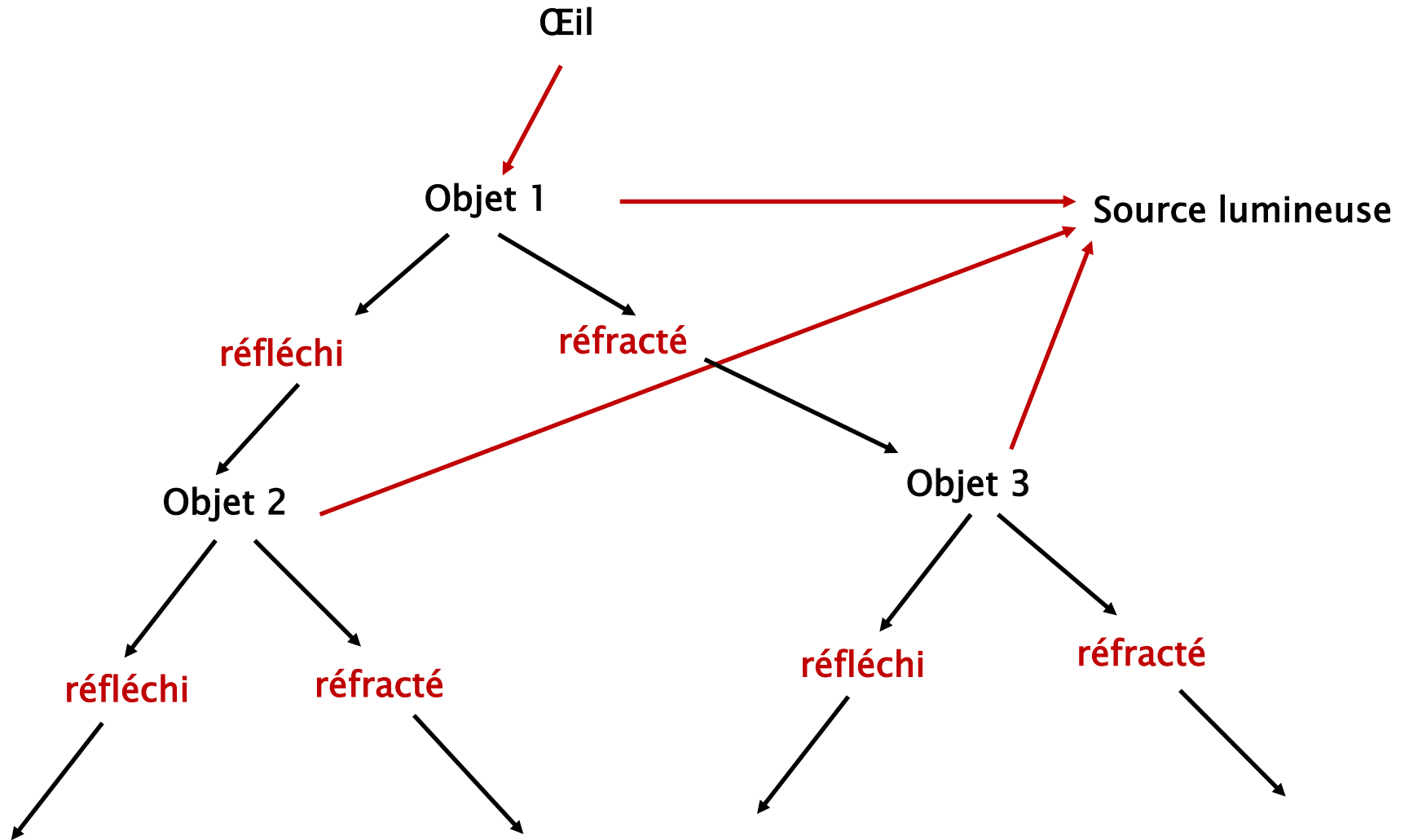
# Extension du modèle

- ▶ Trois nouveaux rayons sont générés :  
un rayon **réfracté**, un rayon **réfléchi**,  
un rayon **d'ombre**





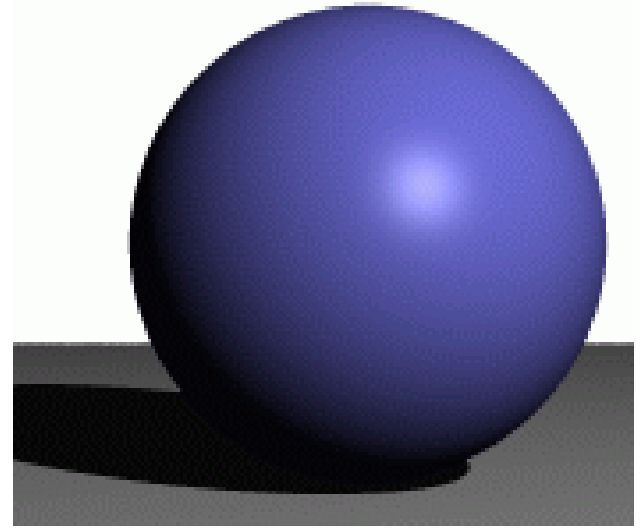
# L'arbre des rayons



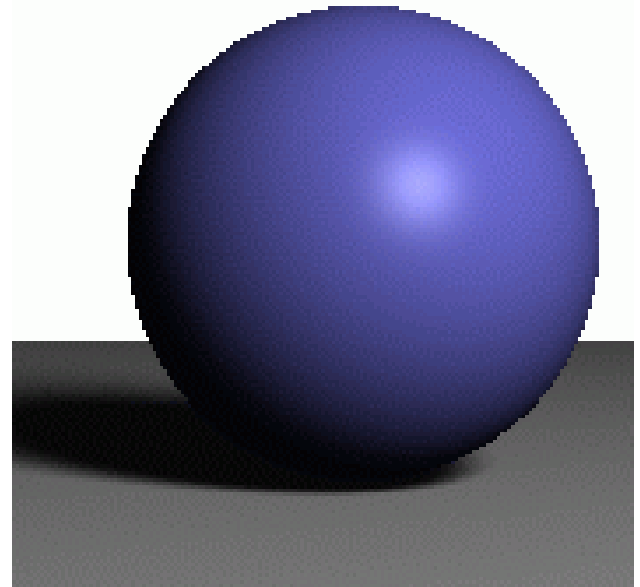
# Encore plus de rayons

- ▶ Ombres douces
  - plusieurs rayons par source de lumière étendue

source ponctuelle

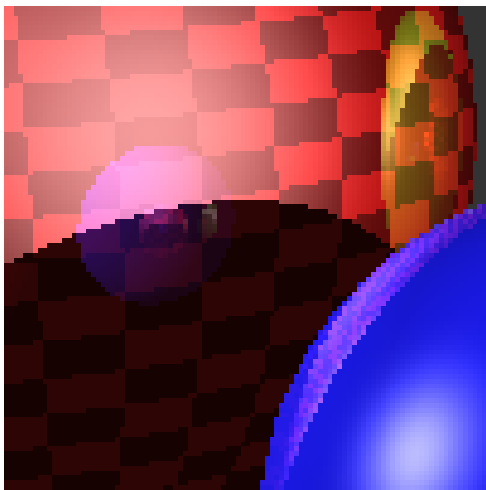


source étendue

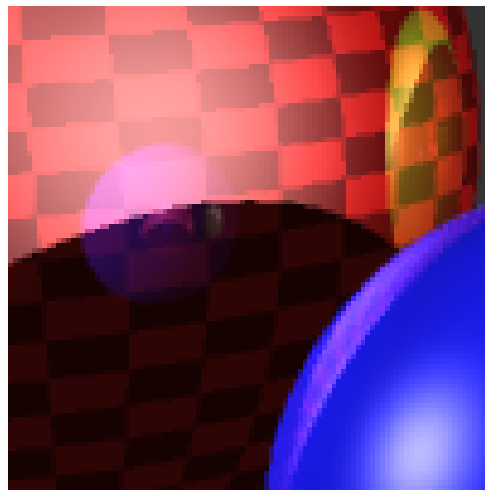


# Encore plus de rayons

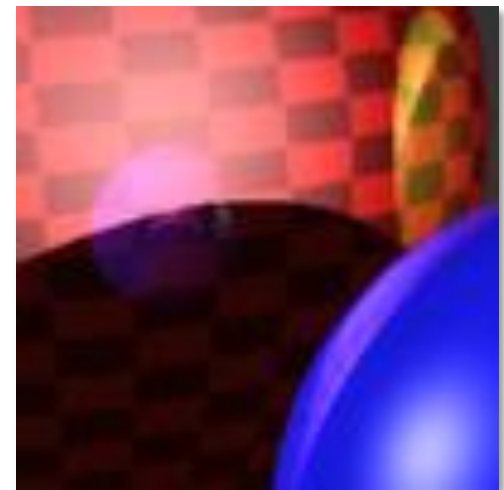
- ▶ Ombres douces
  - plusieurs rayons par source de lumière étendue
- ▶ Anti-aliasing
  - plusieurs rayons par pixel



1 rayon



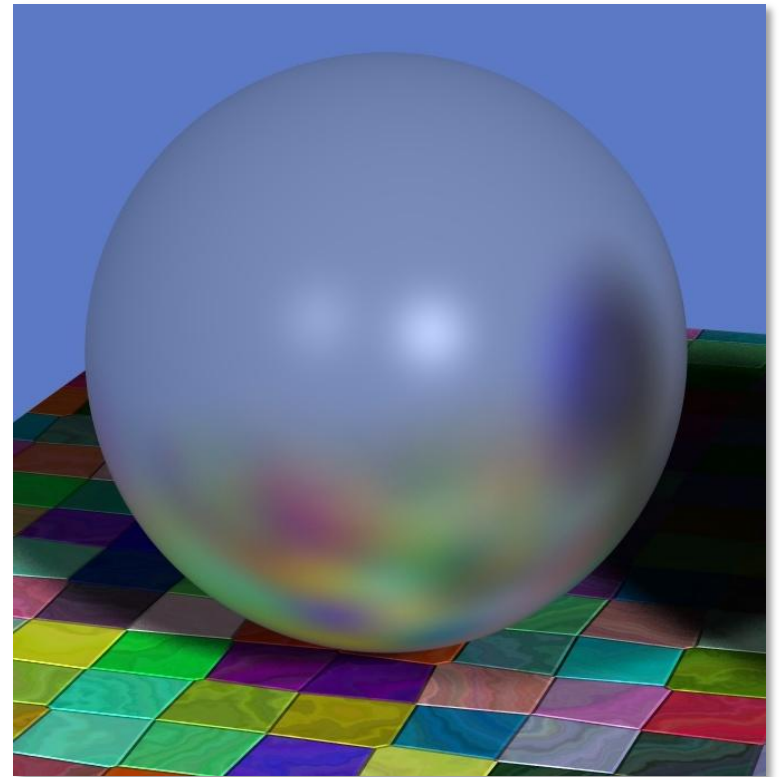
2 rayons



3 rayons

# Encore plus de rayons

- ▶ Ombres douces
  - plusieurs rayons par source de lumière étendue
- ▶ Anti-aliasing
  - plusieurs rayons par pixel
- ▶ Réflexion « glossy »
  - plusieurs rayons réfléchis



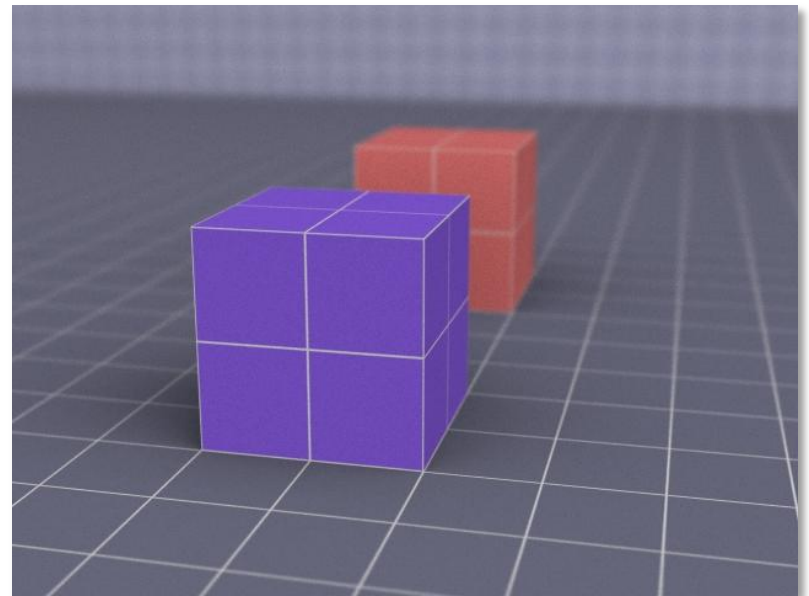
# Encore plus de rayons

- ▶ Ombres douces
  - plusieurs rayons par source de lumière étendue
- ▶ Anti-aliasing
  - plusieurs rayons par pixel
- ▶ Réflexion « glossy »
  - plusieurs rayons réfléchis
- ▶ Flou cinétique
  - plusieurs rayon au cours du temps



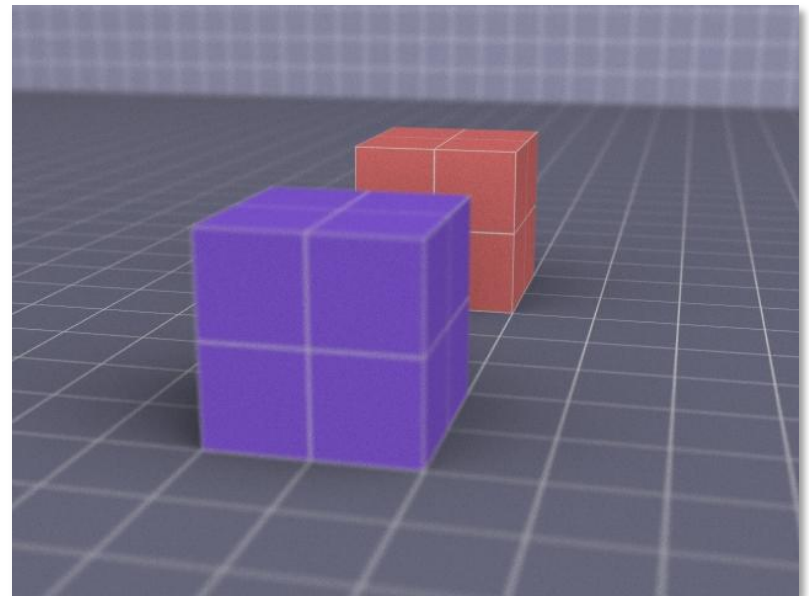
# Encore plus de rayons

- ▶ Ombres douces
  - plusieurs rayons par source de lumière étendue
- ▶ Anti-aliasing
  - plusieurs rayons par pixel
- ▶ Réflexion « glossy »
  - plusieurs rayons réfléchis
- ▶ Flou cinétique
  - plusieurs rayon au cours du temps
- ▶ Profondeur de champ
  - plusieurs rayons par pixel en considérant une lentille



# Encore plus de rayons

- ▶ Ombres douces
  - plusieurs rayons par source de lumière étendue
- ▶ Anti-aliasing
  - plusieurs rayons par pixel
- ▶ Réflexion « glossy »
  - plusieurs rayons réfléchis
- ▶ Flou cinétique
  - plusieurs rayon au cours du temps
- ▶ Profondeur de champ
  - plusieurs rayons par pixel en considérant une lentille



# Intersection rayon-scène

- ▶ Rayon-Sphère : distance point-ligne
- ▶ Rayon-Cylindre : distance ligne-ligne
- ▶ Rayon-Plan : intersection ligne-plan
- ▶ Rayon-Polygone :
  - intersection ligne-plan
  - test si l'intersection est dans le polygone

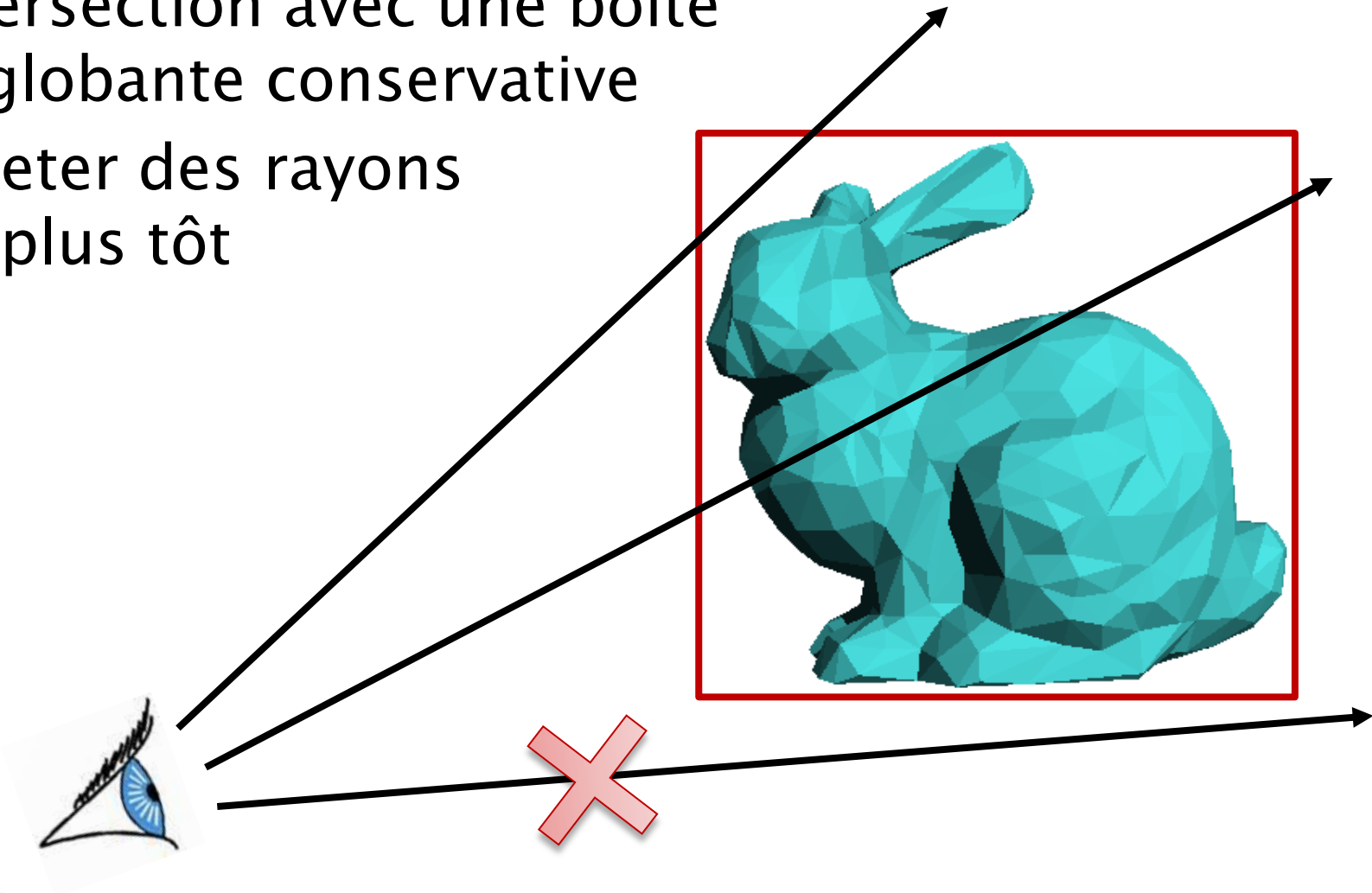


# Intersection rayon-scène

- ▶ 99 % du temps est utilisé pour les intersections
- ⇒ Accélération : réduire le nombre d'intersection
  - Boîtes englobantes
  - Grilles uniformes (voxels)
  - Grille adaptative : octrees

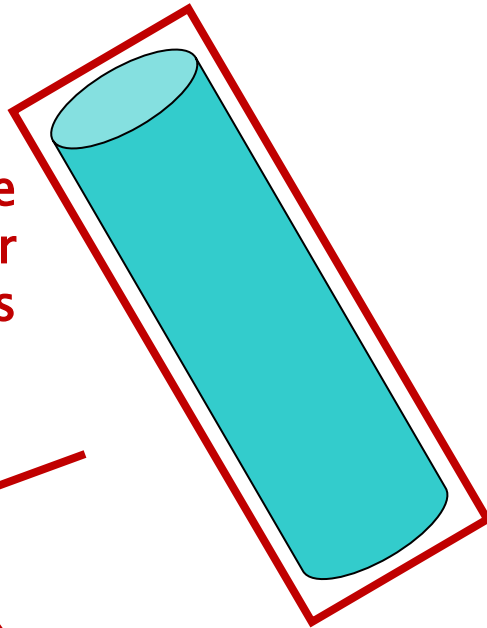
# Boites englobantes

- ▶ Intersection avec une boite englobante conservative
- ▶ Rejeter des rayons au plus tôt

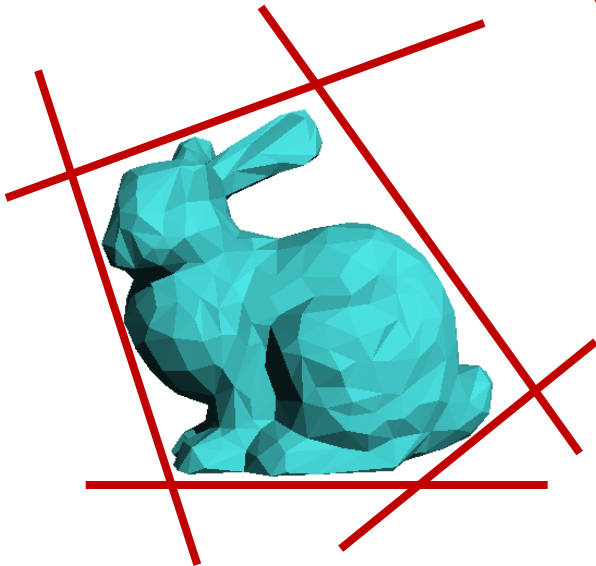


# Boîtes englobantes

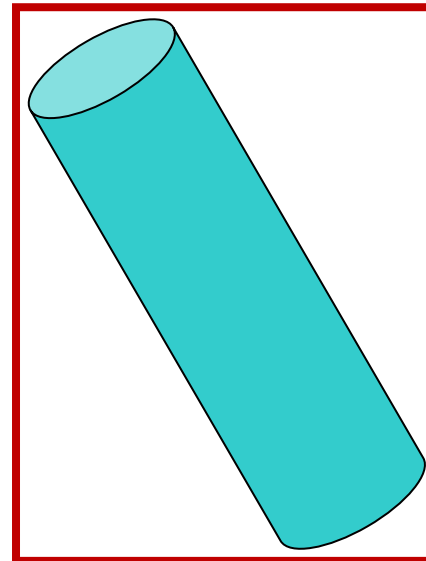
boîte englobante  
non-alignée sur  
les axes



sphère  
englobante

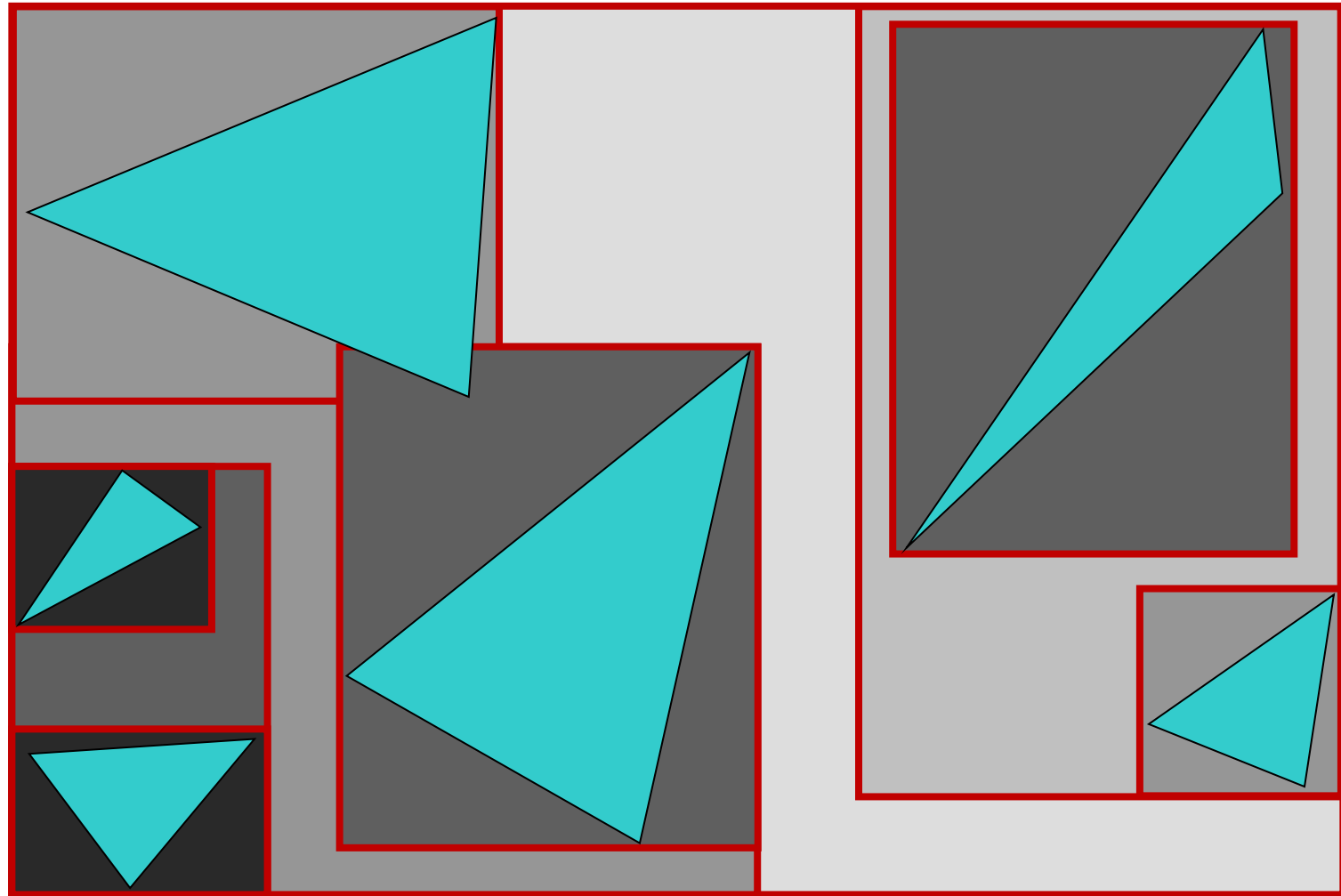


région convexe arbitraire

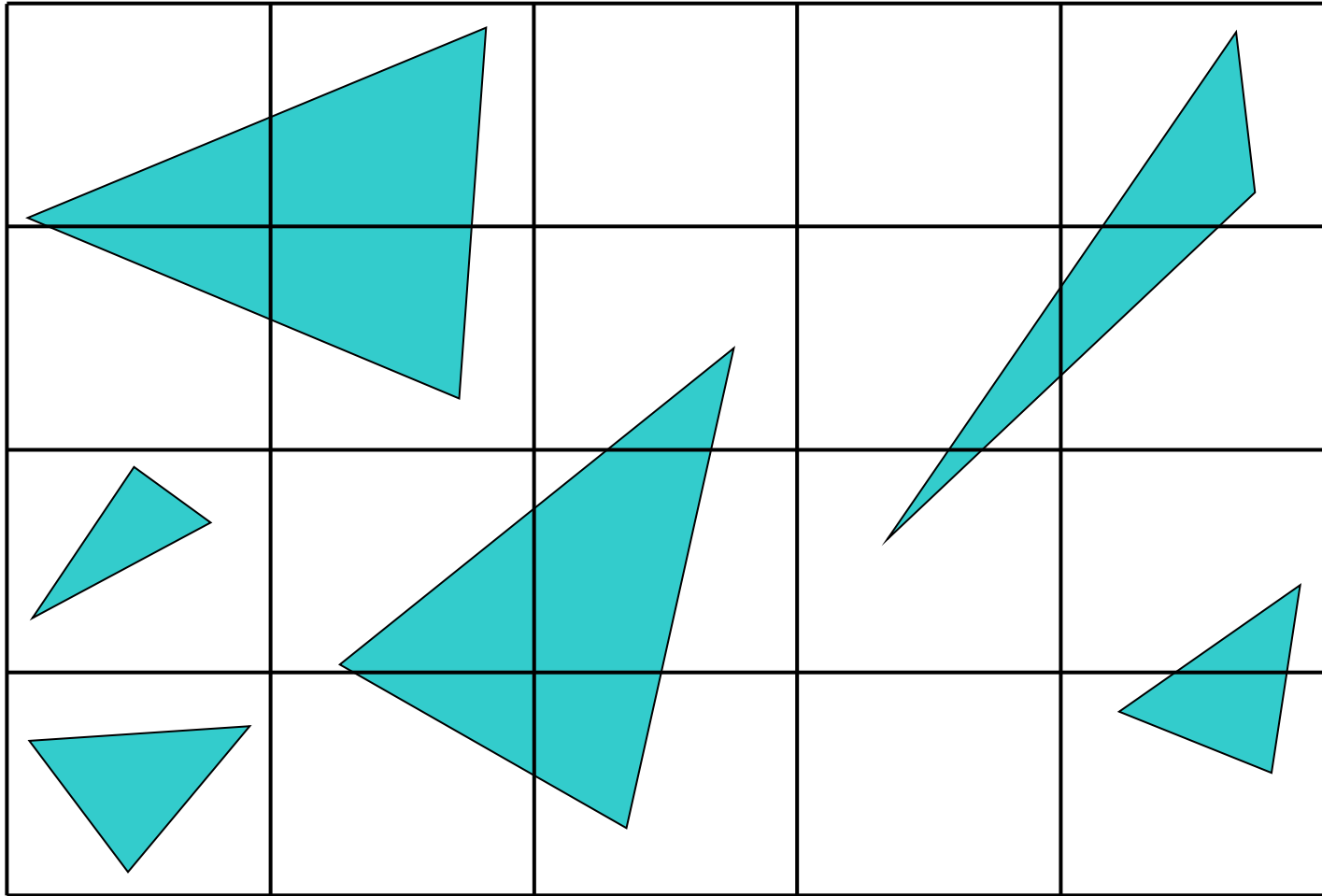


boîte englobante  
alignée sur les  
axes

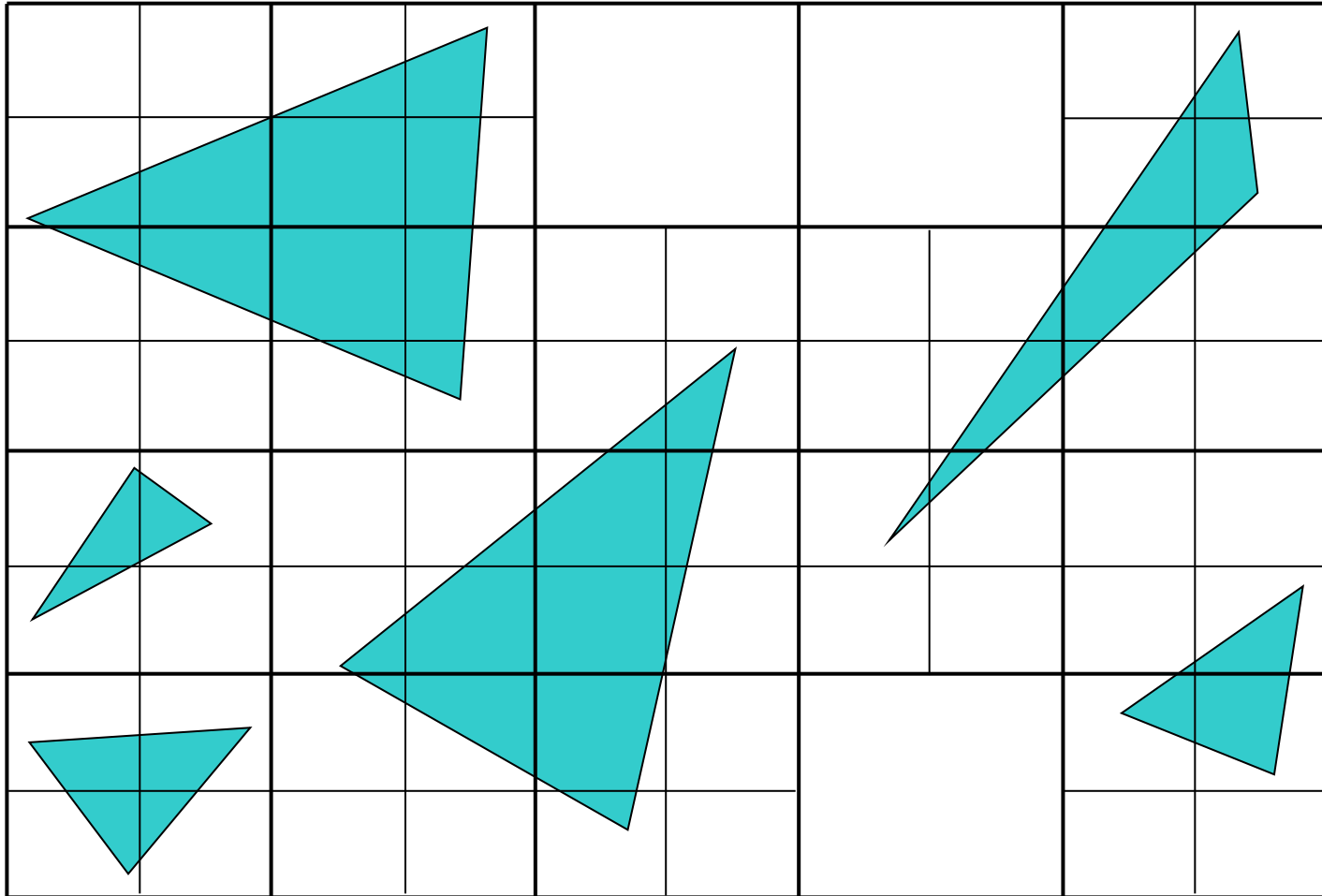
# Hiérarchie de boîtes englobantes



# Grille uniforme



# Grille adaptative : Octree



# Question – 3 mn avec vos voisins

- ▶ Comparer les 3 accélérations :
  - Boites englobantes
  - Grille uniforme
  - Grille adaptative : Octree



# Comparaison

- ▶ Boites englobantes:
  - longue initialisation, requêtes rapides.
- ▶ Grille uniforme :
  - Initialisation rapide, requêtes rapides... si résolution bien choisie.
- ▶ Octrees :
  - Initialisation rapide, requêtes plus longues.



# Lancé de rayons : avantages

- ▶ Lent, mais pas de calculs supplémentaires pour :
  - élimination des parties cachées
  - ombres
  - transparence
  - plaquage de textures (y compris procédurales)
- ▶ Inter-réflexions spéculaires entre objets
- ▶ Primitives graphiques quelconques

# Lancé de rayon : problèmes

- ▶ L'arbre est limité à une certaine profondeur
  - Les objets complexes peuvent avoir un problème (diamant, cristal...)
- ▶ Limité à Snell–Descartes
  - Tous les objets sont métalliques
  - Pas d'inter-réflexion entre objets diffus