

# Modèle, calculs et applications de la visibilité en dimension $n$

---

Lilian Aveneau

XLIM/SIC, CNRS  
Université de Poitiers

12 Décembre 2013

# Plan

---

⇒ Curriculum Vitae

⇒ Simulation de propagation

⇒ Visibilité en dimension  $n \geq 2$

⇒ Applications au Rendu

⇒ Conclusion & Programme de Recherche

# Plan

---

⇒ Curriculum Vitae

⇒ Simulation de propagation

⇒ Visibilité en dimension  $n \geq 2$

⇒ Applications au Rendu

⇒ Conclusion & Programme de Recherche

# Cursus

---

1999 Doctorat informatique, Université de Poitiers

Titre : “Phénomènes Ondulatoires en Synthèse d’images”

## Jury

- Mériaux Michel ..... Directeur
- Bouatouch Kadi ..... Rapporteur
- Péroche Bernard ..... Rapporteur
- Ghazanfarpour Djamchid ..... Examineur
- Guitton Pascal ..... Examineur
- Lienhardt Pascal ..... Examineur
- Vauzelle Rodolphe ..... Examineur

1996 DEA informatique, Université de Bordeaux I

1994 Maîtrise d’informatique, Université de Bordeaux I

1993 Licence d’informatique, Université de Bordeaux I

1992 Deug Mias, Université de Bordeaux I

# Expériences professionnelles

---

- 2000 - Maître de Conférences à l'Université de Poitiers
- 1999 - 2000 ATER à l'Université de Poitiers
- 1996 - 1999 Allocataire de recherche, Université Bordeaux I
- 1995 - 1996 Formation Assedic
- 1994 - 1995 Informaticien du contingent, État major RMDA, Bordeaux
- 1991 - 1995 Opérateur en télématique, CTSYS, Bordeaux
- 1991 Manutentionnaire au *Moulin de La Jarrie*

# Enseignements magistraux

---

## En Licence

- Programmation C (1999 à 2007)
- Programmation Système (2008 à 2012)
- Réseaux (2004 à 2010)

## En Master 1

- Algorithmique Parallèle et Répartie (depuis 2009)
- Architectures Clients-Serveurs (2004 à 2011)
- Conception Orientée Objets (2012)
- Logique & Calculabilité (depuis 2010)
- Synthèse d'Images (depuis 2013)

## En Master 2

- Initiation à la recherche (en 2013, USTH)
- Programmation Réseaux (2001 à 2006)
- Rendu Réaliste (2004 à 2006)

# Charges administratives

---

## Responsabilités collectives

- Relations internationales département info depuis 2012
- M1 IMMT spécialité informatique depuis 2010
- Parcours Réseaux licence TIS entre 2003 et 2007
- Site web du SIC entre 2001 et 2004

## Participations

- Conseil de laboratoire XLIM depuis 2012
- Membre de la CS 27 entre 2003 et 2007, puis du CES depuis 2008
- Conseil de laboratoire SIC entre 2004 et 2007

# Activités de recherche

---

## Publications

- 8 Revues Internationales
- 2 Chapitres d'Ouvrage Collectif (International)
- 1 Conférence Invitée (Eurographics 2013)
- 22 Conférences Internationales avec Comité de Lecture
- 5 Revues Nationales avec Comité de Lecture
- 15 Conférences Nationales avec Comité de Lecture

## Logiciels

- CRT
- RaPSor

## Activités contractuelles

- ANR Mocamimodyn
- France Télécom R&D (Topase, Trio)

# Encadrement doctoral

---

## Thèses soutenues

- 2004 P. Combeau . . . . .simulation propagation radio 2d (CNU 63)
- 2006 F. Mora . . . . . visibilité, ombres douces (CNU 27)
- 2007 S. Charneau . . . visibilité, algèbres géométriques (CNU 27)
- 2010 E. Masson . . . . . propagation radio en tunnel (CNU 63)
- 2012 R. Perrot . . . . .lobes cosinus, photon map (CNU 27)

Encadrement total : 3.3 *thésards*

## Thèses en cours

- 2015 M. Maria . . . . . rendu interactif (CNU 27)
- 2016 A. Behlouli . . . . . simulation optique (CNU 63)

Encadrement total : 1 *thésard*

# Plan

---

⇒ Curriculum Vitae

⇒ Simulation de propagation

⇒ Visibilité en dimension  $n \geq 2$

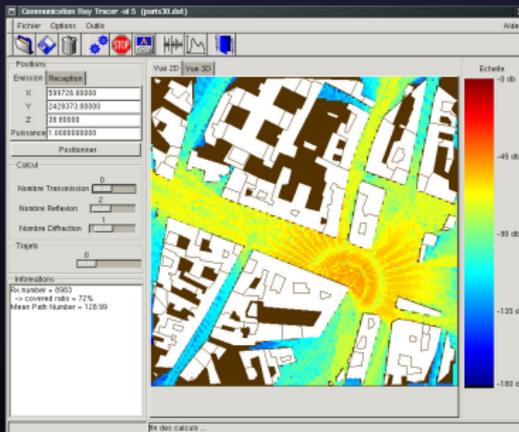
⇒ Applications au Rendu

⇒ Conclusion & Programme de Recherche

# Objectifs d'une simulation

## 1. Planification

- Aide au placement d'émetteurs dans une scène réelle



Zone de couverture

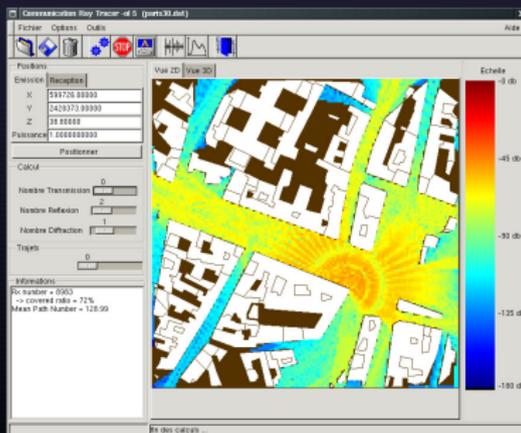
# Objectifs d'une simulation

## 1. Planification

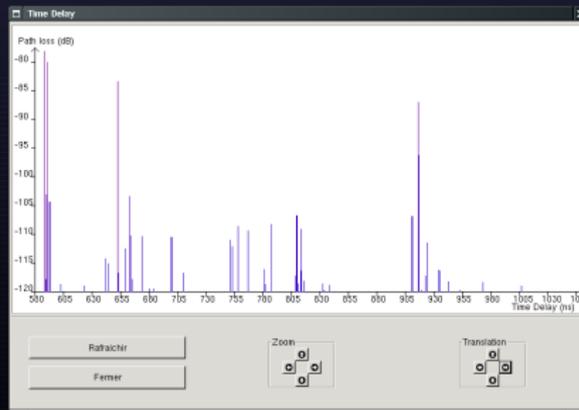
- Aide au placement d'émetteurs dans une scène réelle

## 2. Caractérisation du canal

- Définir niveau trame / niveau physique



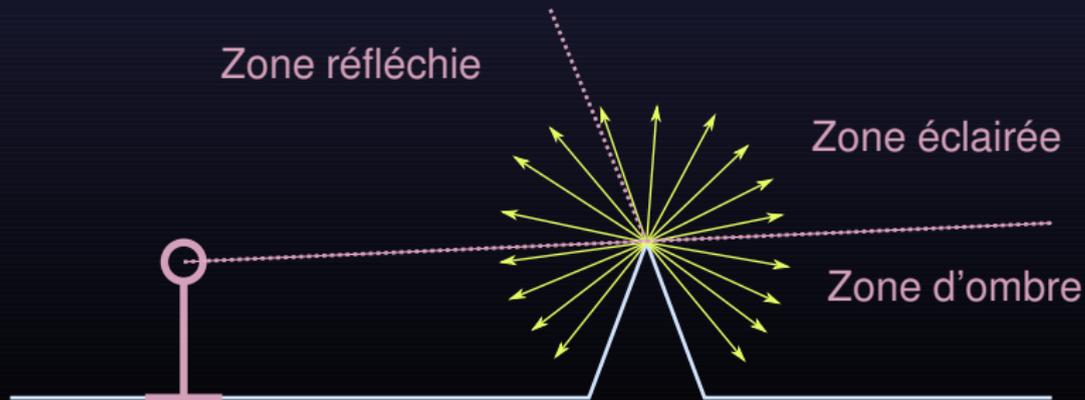
Zone de couverture



Réponse impulsionnelle

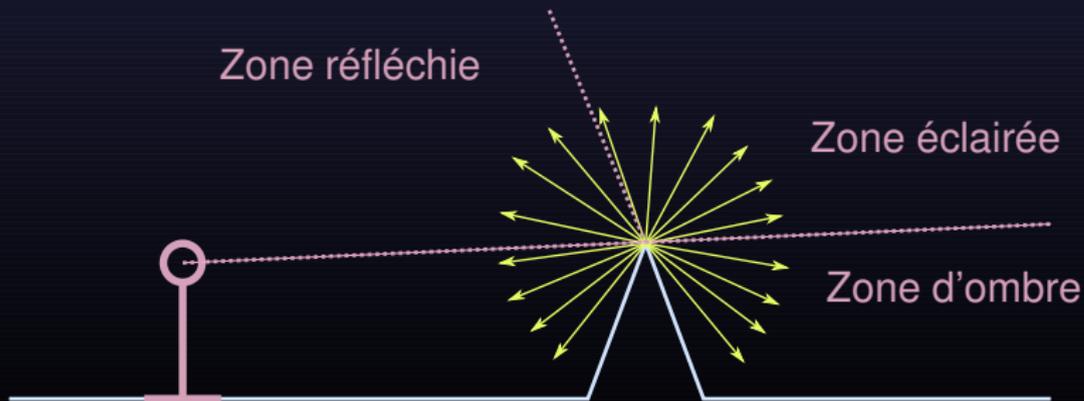
# Principe d'une simulation radio

- Propagation directe
- Réflexion
- Réfraction
- Diffraction
- Polarisation, interférences

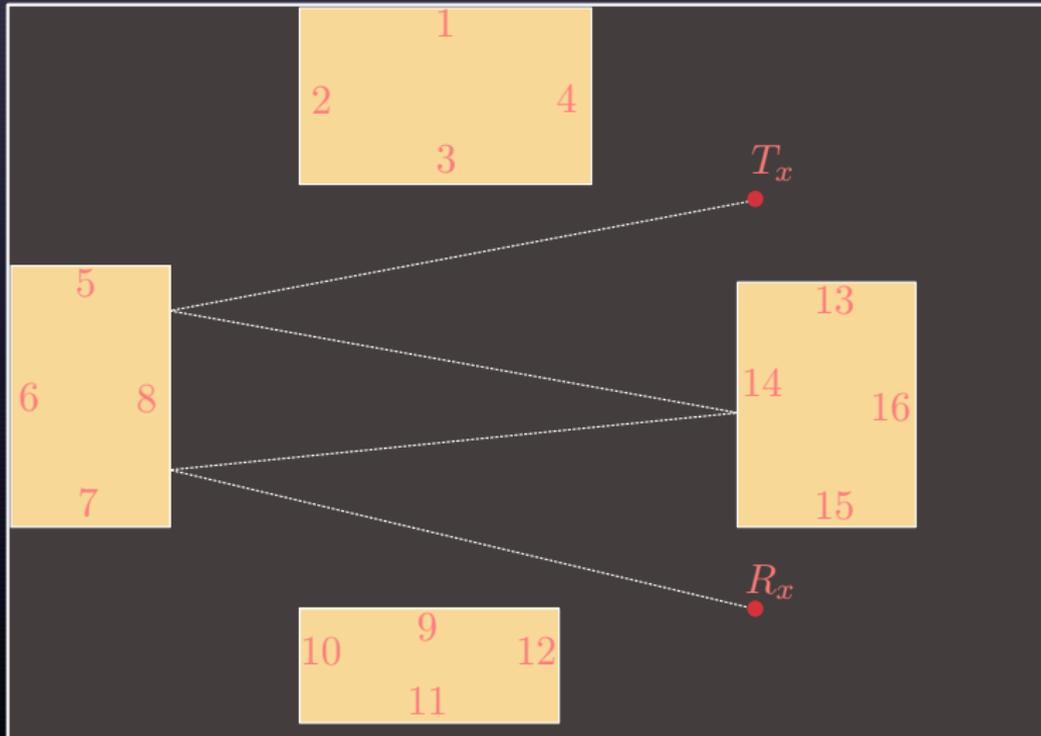


# Principe d'une simulation radio

- Propagation directe
  - Réflexion
  - Réfraction
  - Diffraction
  - Polarisation, interférences
- } Calculs déterministes

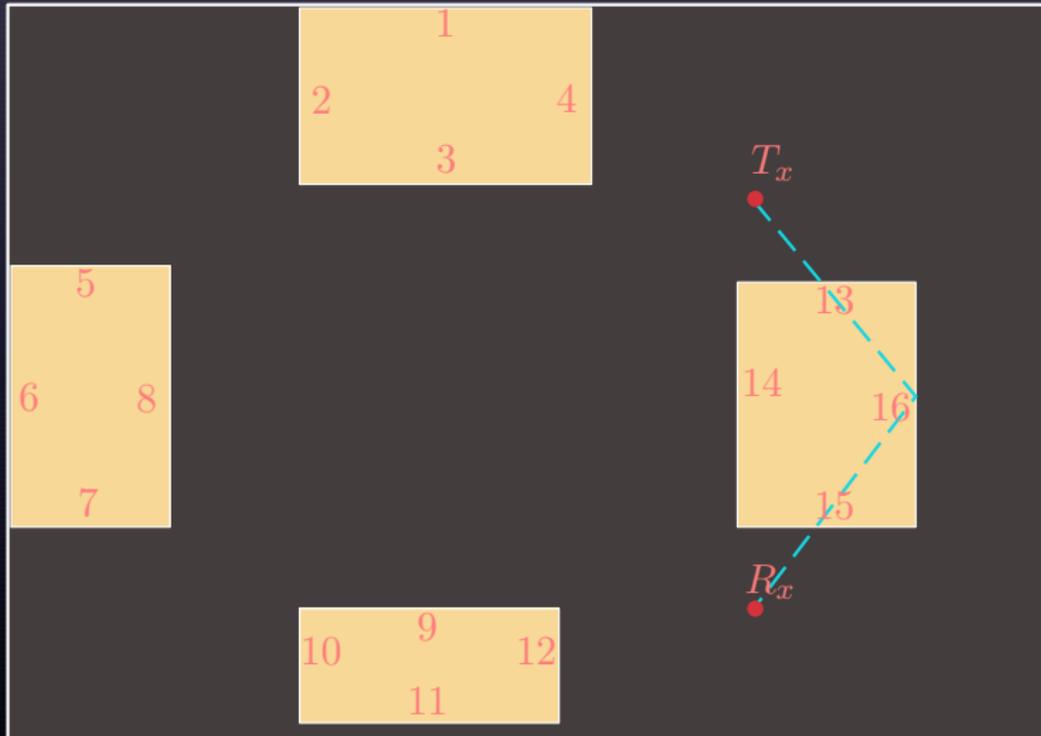


# Calculer les chemins



Exemple : réflexion uniquement

# Calculer les chemins



3 étapes (plan, polygone, occlusion)

# Complexité d'une simulation

---

Simplifions : uniquement phénomène réflexion

- Nous avons  $n$  faces
- Simulation chemins longueur  $r$
- Environ  $\mathcal{O}(n^r)$  chemins potentiels

# Complexité d'une simulation

---

Simplifions : uniquement phénomène réflexion

- Nous avons  $n$  faces
- Simulation chemins longueur  $r$
- Environ  $\mathcal{O}(n^r)$  chemins potentiels

Beaucoup trop complexe !

- Prenons  $n = 1024$ ,  $r = 10$  :

$$(2^{10})^{10} = 2^{100} \text{ chemins !}$$

soit

# Complexité d'une simulation

---

Simplifions : uniquement phénomène réflexion

- Nous avons  $n$  faces
- Simulation chemins longueur  $r$
- Environ  $\mathcal{O}(n^r)$  chemins potentiels

Beaucoup trop complexe !

- Prenons  $n = 1024$ ,  $r = 10$  :

$$(2^{10})^{10} = 2^{100} \text{ chemins !}$$

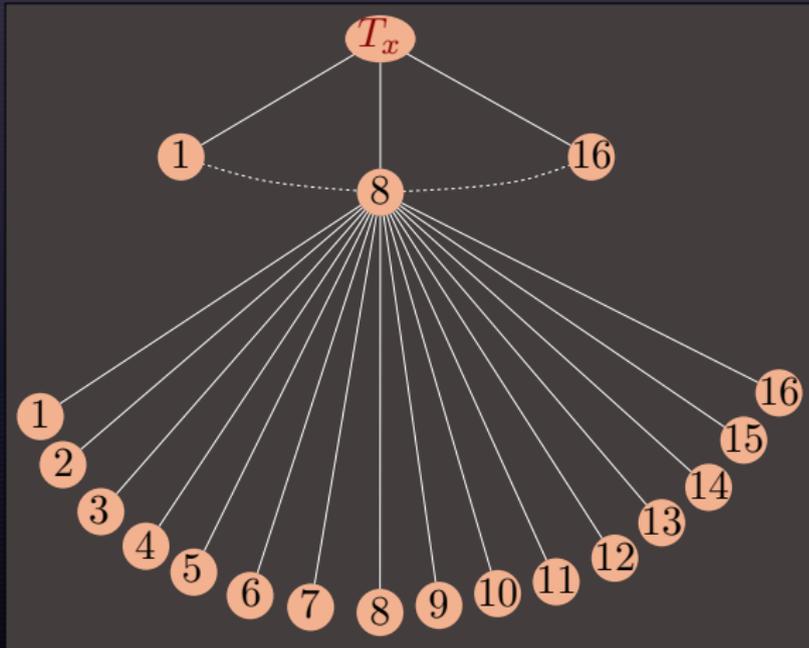
soit  $\approx 42$  milliards de milliards d'années ...

Il faut optimiser !

- Réduire nombre de chemins hypothétiques

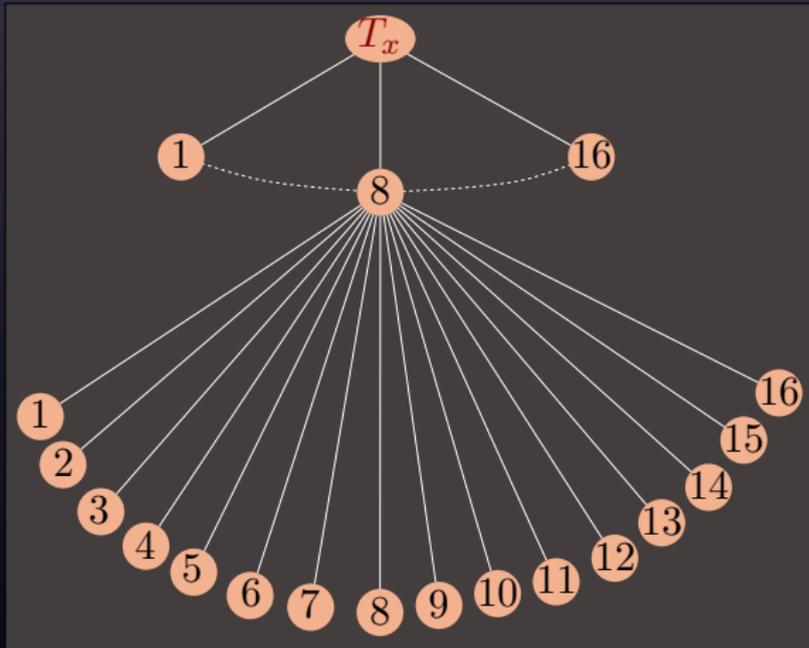
# Optimisations

Notre approche :  
organiser les  
calculs dans  
un arbre



# Optimisations

Notre approche :  
organiser les  
calculs dans  
un arbre



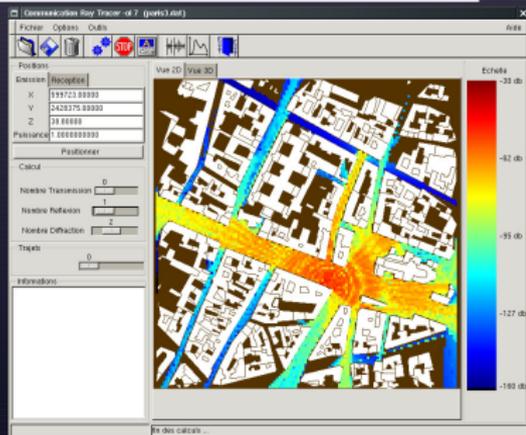
3 familles de méthodes :

1. Méthodes stochastiques
2. Lancer de Faisceaux
3. Graphe de Visibilité

# Méthodes stochastiques

## Méthode "Oracle" [Aveneau 2004]

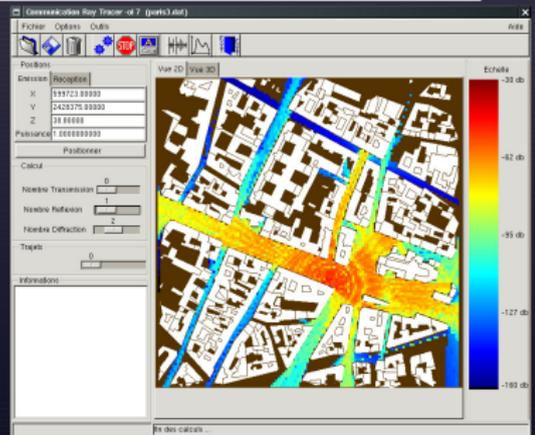
- Marquer la géométrie rencontrée
- Problème principal : diffraction
  - Maîtriser l'explosion combinatoire
- Mode principal de simulation
  - Nombreux contrats industriels



# Méthodes stochastiques

## Méthode "Oracle" [Aveneau 2004]

- Marquer la géométrie rencontrée
- Problème principal : diffraction
  - Maîtriser l'explosion combinatoire
- Mode principal de simulation
  - Nombreux contrats industriels



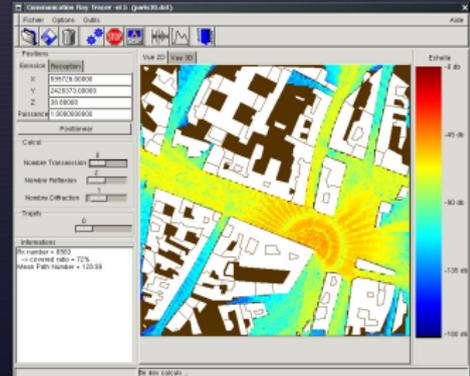
## Tunnels [Masson 2010]

- Thèse É. Masson
- Lancer rayons
- Réception approchée
  - Reconstruction chemins

# Lancer de faisceaux

En dimension 3 [Aveneau 2003]

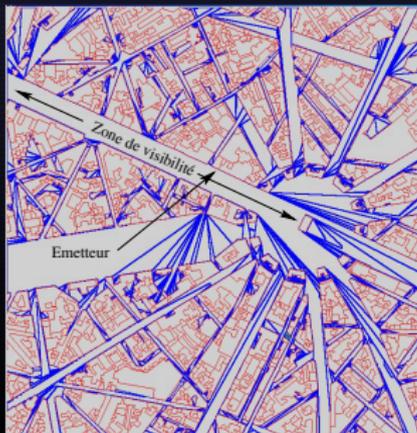
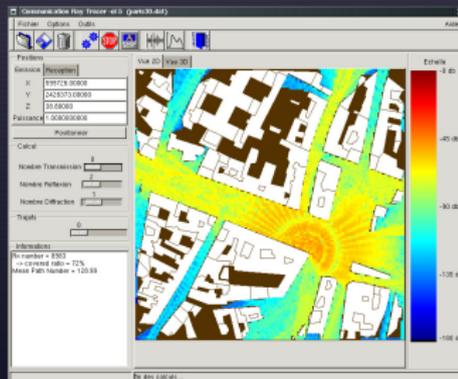
- Issue mes travaux de thèse
- Tous types d'interaction
  - Reflexion, réfraction
  - Diffraction
- Bords faisceaux : quadriques !



# Lancer de faisceaux

## En dimension 3 [Aveneau 2003]

- Issue mes travaux de thèse
- Tous types d'interaction
  - Reflexion, réfraction
  - Diffraction
- Bords faisceaux : quadriques !



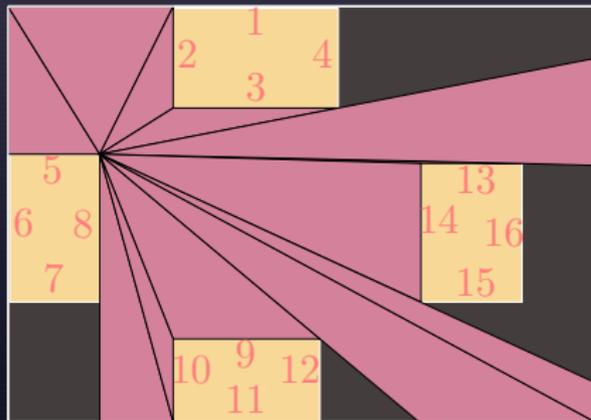
## En dimension 2 [Combeau 2004]

- Contrat Recherche Topase, France Télécom R&D
- Doctorat de P. Combeau
- Partitionnement spatial
- Réflexion et réfraction

# Graphe de visibilité

En dimension 2 [Combeau 2006]

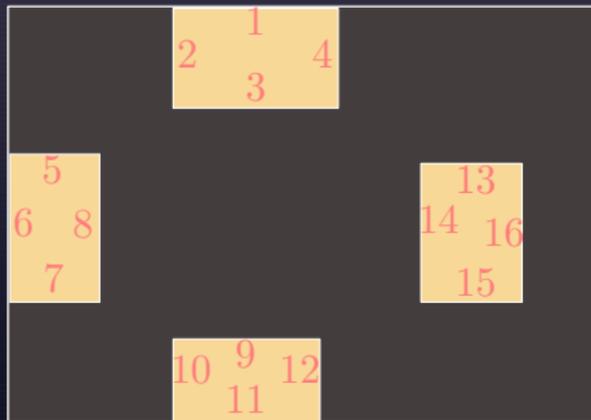
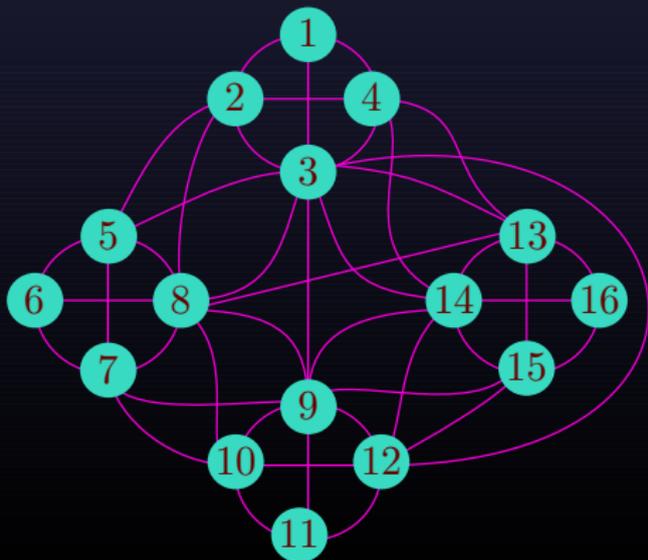
- Diffraction lancer faisceaux ?
  - Toujours même sous-arbre
- Maîtriser consommation mémoire



# Graphe de visibilité

## En dimension 2 [Combeau 2006]

- Diffraction lancer faisceaux ?
  - Toujours même sous-arbre
- Maîtriser consommation mémoire



## En dimension 3 [Mora 2005b]

- Pré-traitement visibilité
- Méthode “exacte”
- Contrat Recherche “Trio”, France Télécom R&D

# Plan

---

⇒ Curriculum Vitae

⇒ Simulation de propagation

⇒ **Visibilité en dimension  $n \geq 2$**

⇒ Applications au Rendu

⇒ Conclusion & Programme de Recherche

# Problématique de la visibilité

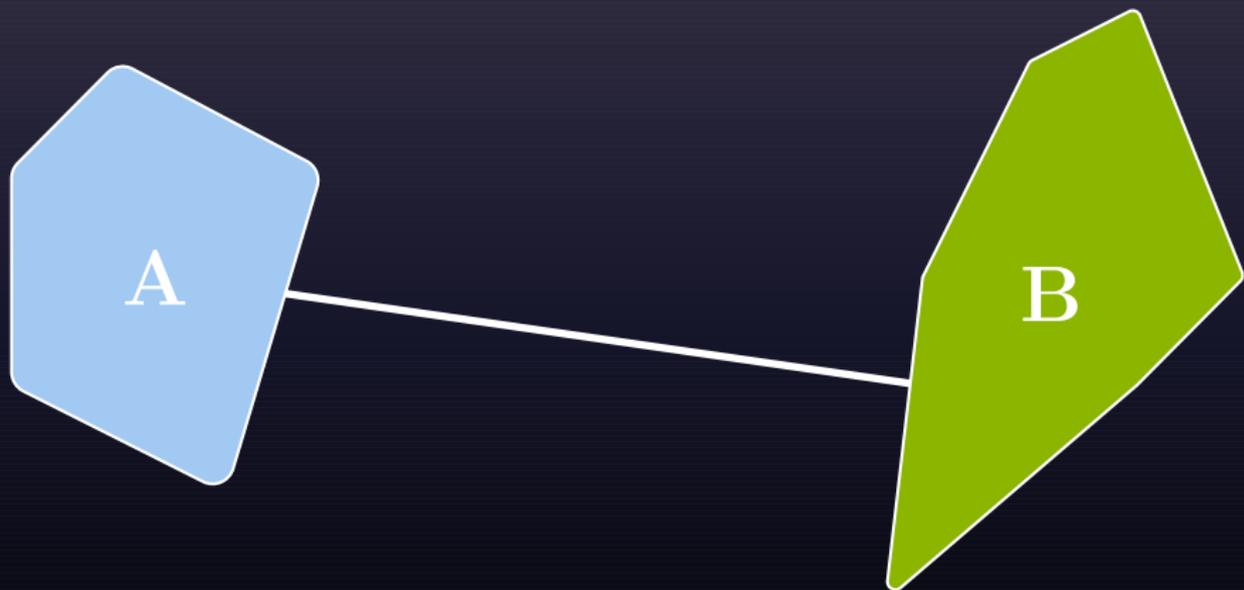
---



Deux ensembles de points A et B

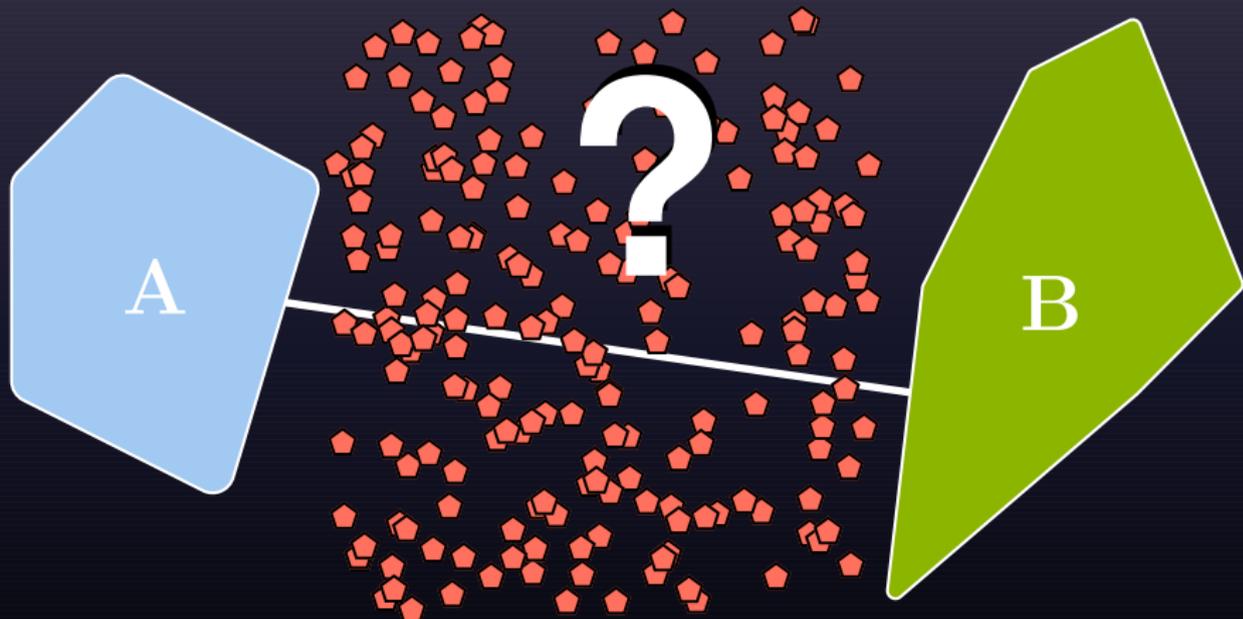
# Problématique de la visibilité

---



Deux ensembles de points A et B sont visibles si et seulement si il existe au moins un *segment de droite* les reliant,

# Problématique de la visibilité

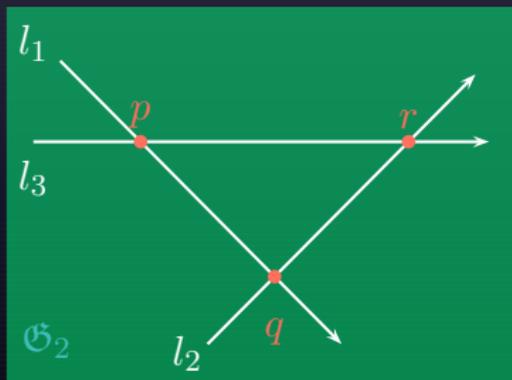


Deux ensembles de points A et B sont visibles si et seulement si il existe au moins un *segment de droite* les reliant, **sans traverser aucune autre géométrie**

# Espace de droites

Dimension 2 : droites sont hyperplans

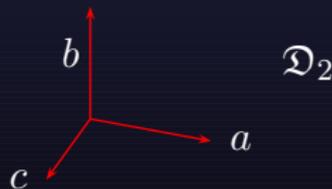
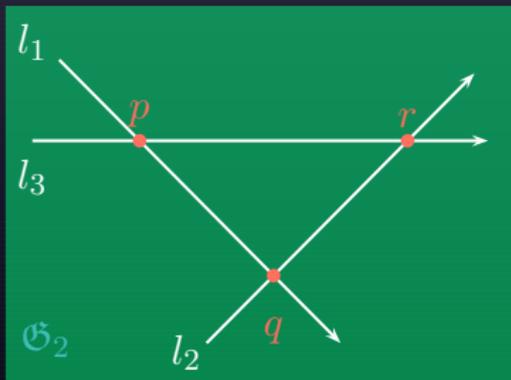
$$d : \{(X, Y) \in \mathbb{R}^2 \mid aX + bY + c = 0\}$$



# Espace de droites

Dimension 2 : droites sont hyperplans

$$d : \{(X, Y) \in \mathbb{R}^2 \mid aX + bY + c = 0\}$$



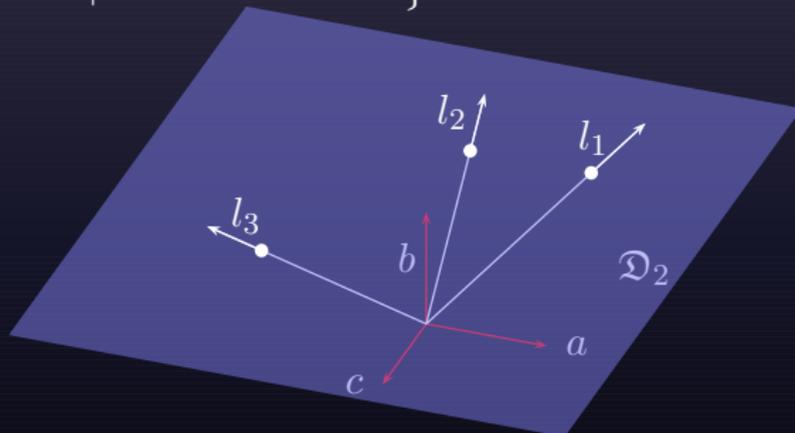
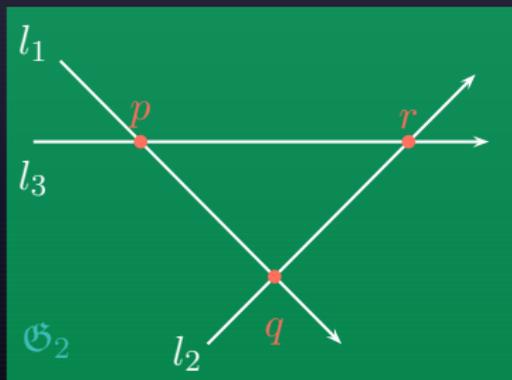
Espace des coefficients forme espace *projectif* de droites

- Dimension 3 ( $a$ ,  $b$  et  $c$ )

# Espace de droites

Dimension 2 : droites sont hyperplans

$$d : \{(X, Y) \in \mathbb{R}^2 \mid aX + bY + c = 0\}$$



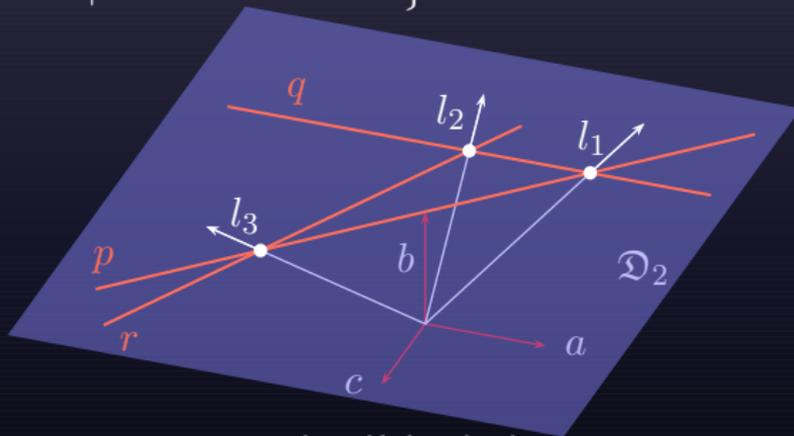
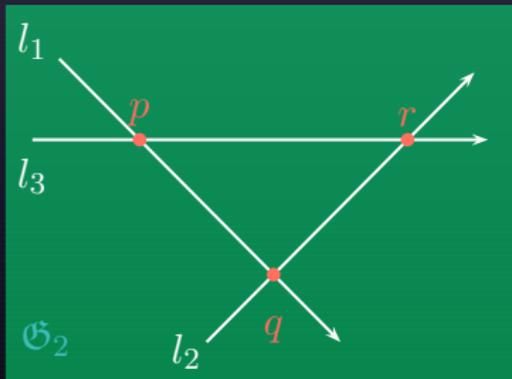
Espace des coefficients forme espace *projectif* de droites

- Dimension 3 ( $a$ ,  $b$  et  $c$ )
- Droite de  $\mathbb{G}_2$  y est un point *projectif*

# Espace de droites

Dimension 2 : droites sont hyperplans

$$d : \{(X, Y) \in \mathbb{R}^2 \mid aX + bY + c = 0\}$$



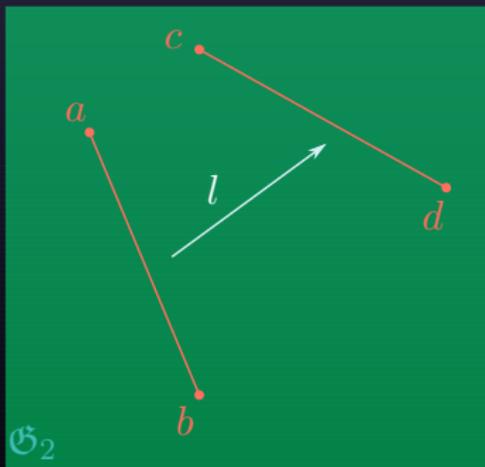
Espace des coefficients forme espace *projectif* de droites

- Dimension 3 ( $a$ ,  $b$  et  $c$ )
  - Droite de  $\mathcal{G}_2$  y est un point *projectif*
  - Inversement, point de  $\mathcal{G}_2$  y est une droite !
- principe de **dualité**

# L'orientation des droites $\mathfrak{G}_2$

Dans  $\mathfrak{G}_2$  une droite partage l'espace en deux parties ...

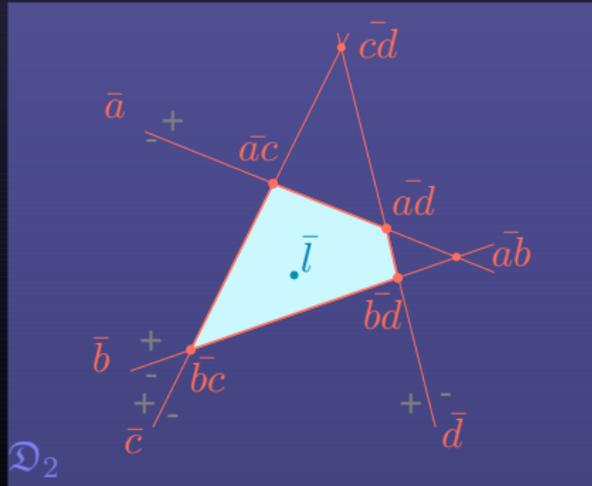
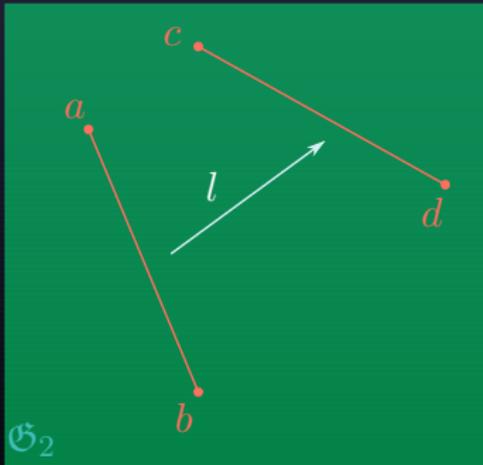
- Droites orientées : sous-espaces négatif et positif !



# L'orientation des droites $\mathfrak{G}_2$

Dans  $\mathfrak{G}_2$  une droite partage l'espace en deux parties ...

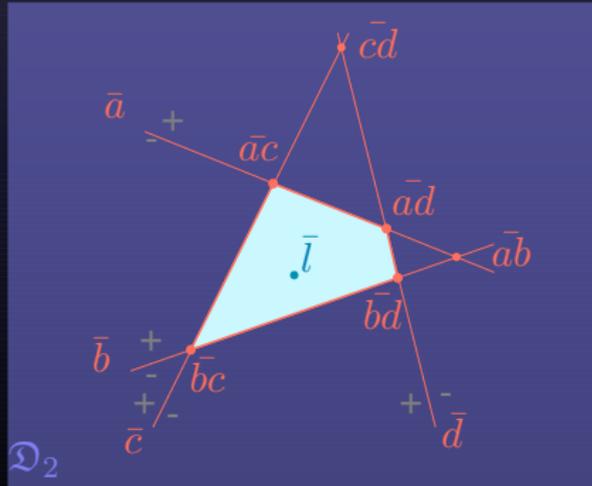
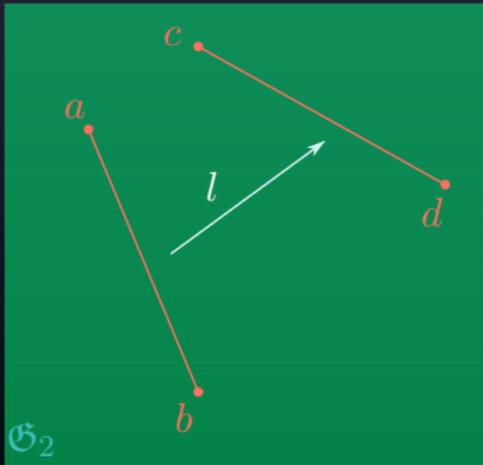
- Droites orientées : sous-espaces négatif et positif !
- Par dualité, points découpent l'espace des droites ...



# L'orientation des droites $\mathcal{G}_2$

Dans  $\mathcal{G}_2$  une droite partage l'espace en deux parties ...

- Droites orientées : sous-espaces négatif et positif !
- Par dualité, points découpent l'espace des droites ...

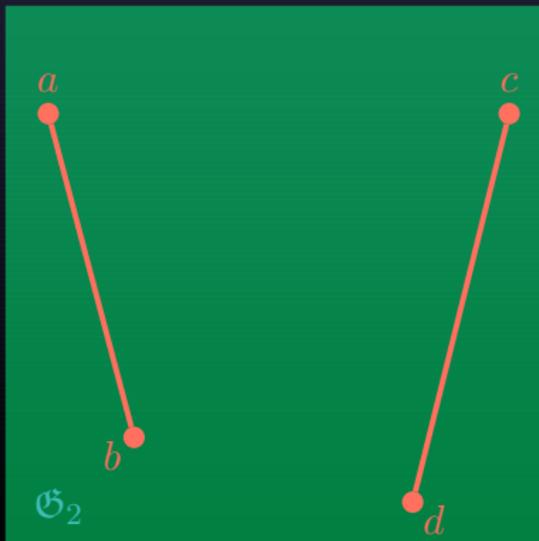


Calculer la visibilité

→ découper des polygones !

# Calculer la visibilité dans $\mathcal{G}_2$

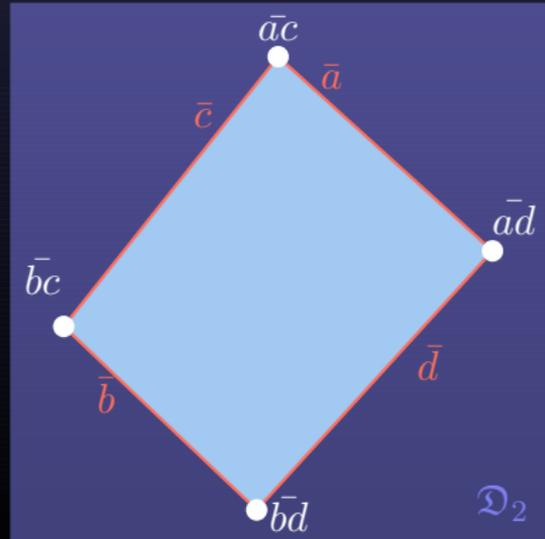
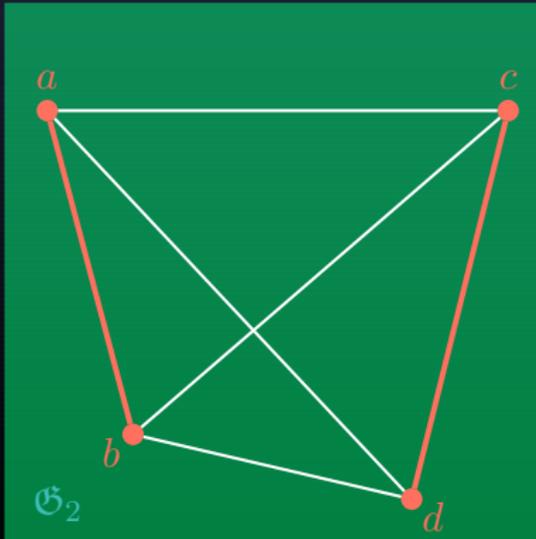
Le calcul est dans  $\mathcal{D}_2$



# Calculer la visibilité dans $\mathcal{G}_2$

Le calcul est dans  $\mathcal{D}_2$

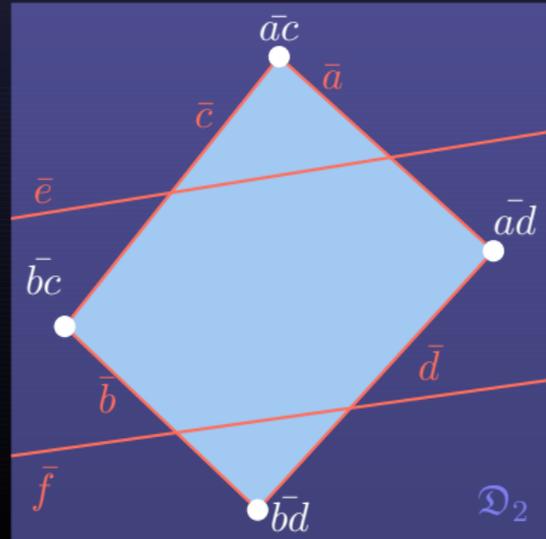
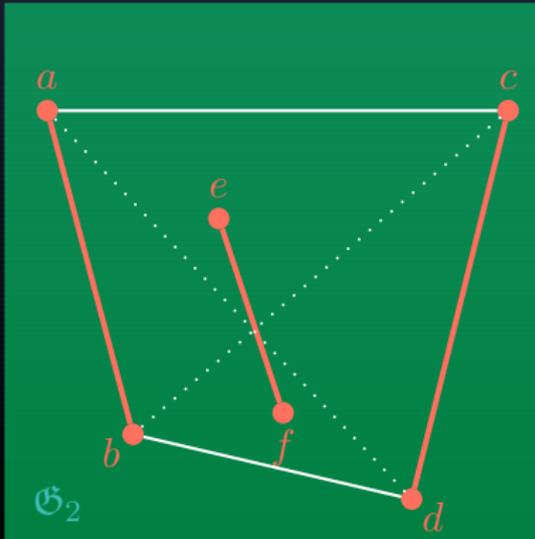
- Calculer le polygone minimal



# Calculer la visibilité dans $\mathcal{G}_2$

Le calcul est dans  $\mathcal{D}_2$

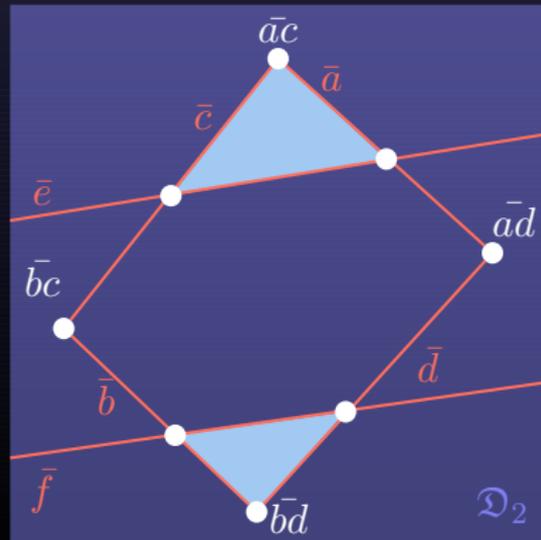
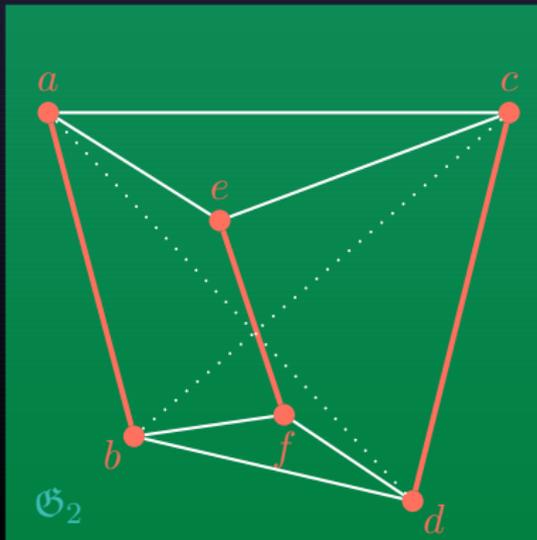
- Calculer le polygone minimal
- **Géométrie bloquante** : retrancher les droites les traversant



# Calculer la visibilité dans $\mathcal{G}_2$

Le calcul est dans  $\mathcal{D}_2$

- Calculer le polygone minimal
- Géométrie bloquante : retrancher les droites les traversant
- **A la fin : morceaux restant contiennent droites visibles**



# Calculer la visibilité dans $\mathcal{G}_3$

---

## Extension de la méthode de $\mathcal{G}_2$ vers $\mathcal{G}_3$

- Espace de droites : coordonnées de Plücker
- J. Bittner
  - Visibilité globale (depuis une face)
  - Arbre BSP
- S. Nirenstein
  - Calcul occlusion (entre deux faces)
  - Opérations CSG

# Calculer la visibilité dans $\mathcal{G}_3$

---

## Extension de la méthode de $\mathcal{G}_2$ vers $\mathcal{G}_3$

- Espace de droites : coordonnées de Plücker
- J. Bittner
  - Visibilité globale (depuis une face)
  - Arbre BSP
- S. Nirenstein
  - Calcul occlusion (entre deux faces)
  - Opérations CSG

## Nos premiers travaux

[Mora 2005a]

- Thèse de Frédéric Mora (2006)
  - Principalement occlusion
  - Arbre binaire des découpes (fusion Bittner et Nirenstein)
- Amélioration de la stabilité ...

# Algèbre de Grassmann

---

Thèse de Sylvain Charneau

[Charneau 2005]

- Espace vectoriel  $\mathbb{R}^n$
- **Produit de Grassmann  $\wedge$** 
  - Antisymétrique :  $a \wedge b = -b \wedge a$
  - Donc  $a \wedge a = -a \wedge a = 0$

# Algèbre de Grassmann

Thèse de Sylvain Charneau

[Charneau 2005]

- Espace vectoriel  $\mathbb{R}^n$
- **Produit de Grassmann  $\wedge$** 
  - Antisymétrique :  $a \wedge b = -b \wedge a$
  - Donc  $a \wedge a = -a \wedge a = 0$
- Algèbre : espace d'espaces
  - Les réels
  - $k$ -vecteurs pour  $k \in [1 \dots n - 1]$  :  $a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_k$
  - Les "pseudoscalaires"

$$\bigwedge (\mathbb{R}^n) = \bigoplus_{k=0}^n \bigwedge^k (\mathbb{R}^n)$$

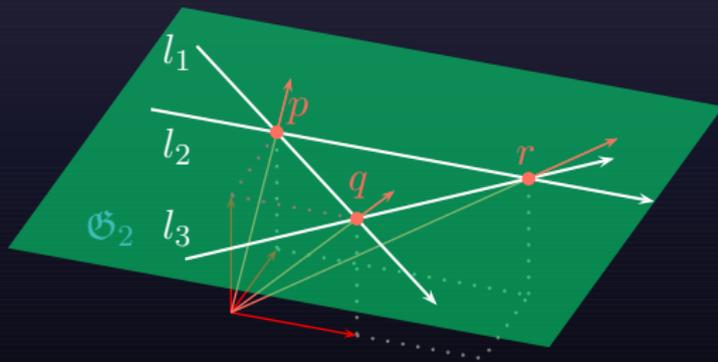
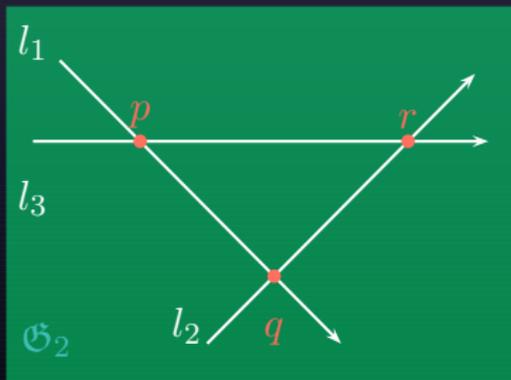
- **Dualité** entre  $k$ -vecteurs et  $(n - k)$ -vecteurs

# Espace de droites $\mathfrak{D}_n$

Utilise **espace géométrique projectif**

[Charneau 2006]

- Un point de  $\mathfrak{G}_n \rightarrow$  un vecteur de  $\mathbb{R}^{n+1}$



# Espace de droites $\mathfrak{D}_n$

Utilise **espace géométrique projectif**

[Charneau 2006]

- Un point de  $\mathfrak{G}_n \rightarrow$  un vecteur de  $\mathbb{R}^{n+1}$

**Espace des droites** : espace des 2-vecteurs  $\wedge^2 (\mathbb{R}^{n+1})$

- Une droite = sous-espace défini par deux points

$$l_{ab} = a \wedge b$$

# Espace de droites $\mathfrak{D}_n$

Utilise **espace géométrique projectif**

[Charneau 2006]

- Un point de  $\mathfrak{G}_n \rightarrow$  un vecteur de  $\mathbb{R}^{n+1}$

**Espace des droites** : espace des 2-vecteurs  $\wedge^2(\mathbb{R}^{n+1})$

- Une droite = sous-espace défini par deux points

$$l_{ab} = a \wedge b$$

## Résultats théoriques

- Orientation consistante dans  $\mathfrak{D}_n$
- Polytope minimal entre A et B
  - C'est l'enveloppe convexe  $a_i \wedge b_j$
  - **Première méthode exacte !**

[Aveneau 2011]

# Évaluation paresseuse

---

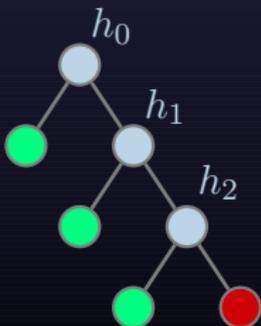
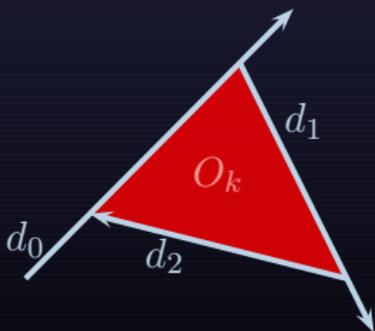
Méthode reste limitée en terme de taille de la géométrie

- Arbre peut devenir trop gros [Charneau 2007a]
- Pour stocker des résultats qui ne seront jamais exploités !
- Le calculer à la demande [Mora 2012, Mora 2013]

# Évaluation paresseuse

Méthode reste limitée en terme de taille de la géométrie

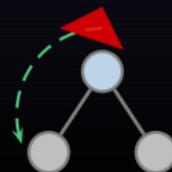
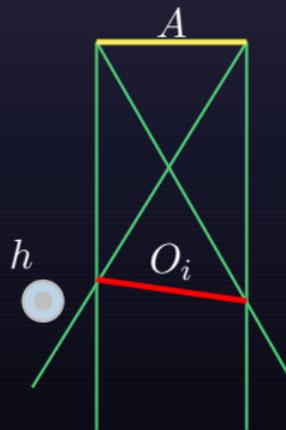
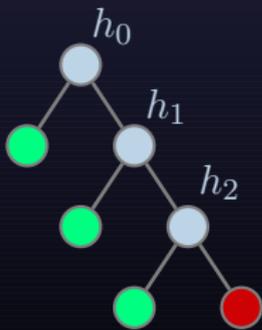
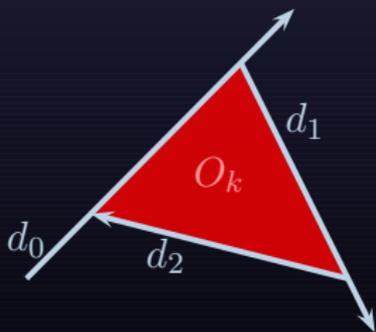
- Arbre peut devenir trop gros [Charneau 2007a]
- Pour stocker des résultats qui ne seront jamais exploités !
- Le calculer à la demande [Mora 2012, Mora 2013]



# Évaluation paresseuse

Méthode reste limitée en terme de taille de la géométrie

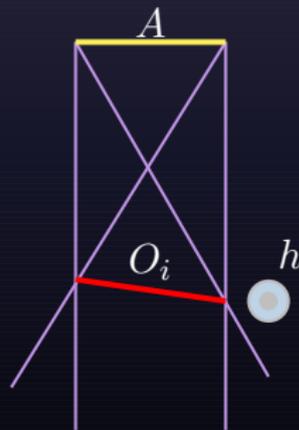
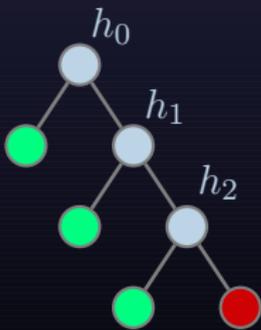
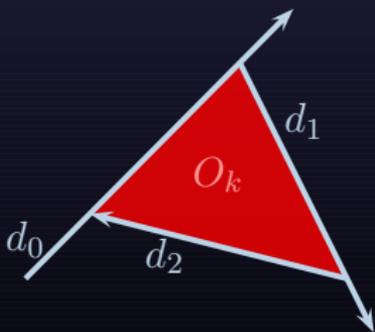
- Arbre peut devenir trop gros [Charneau 2007a]
- Pour stocker des résultats qui ne seront jamais exploités !
- Le calculer à la demande [Mora 2012, Mora 2013]



# Évaluation paresseuse

Méthode reste limitée en terme de taille de la géométrie

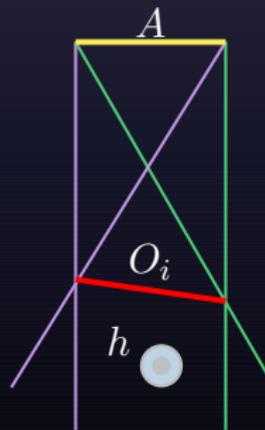
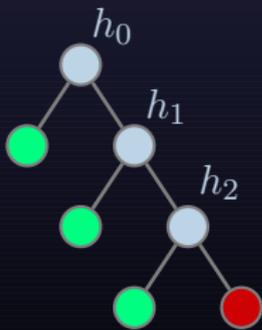
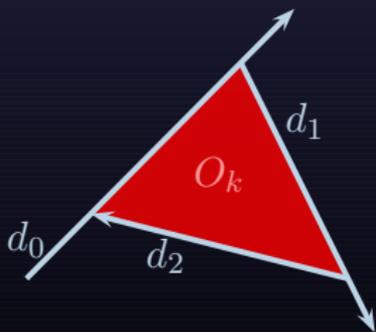
- Arbre peut devenir trop gros [Charneau 2007a]
- Pour stocker des résultats qui ne seront jamais exploités !
- Le calculer à la demande [Mora 2012, Mora 2013]



# Évaluation paresseuse

Méthode reste limitée en terme de taille de la géométrie

- Arbre peut devenir trop gros [Charneau 2007a]
- Pour stocker des résultats qui ne seront jamais exploités !
- Le calculer à la demande [Mora 2012, Mora 2013]



# Plan

---

⇒ Curriculum Vitae

⇒ Simulation de propagation

⇒ Visibilité en dimension  $n \geq 2$

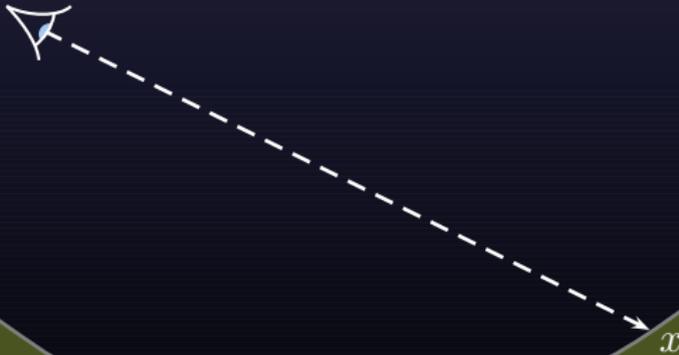
⇒ **Applications au Rendu**

⇒ Conclusion & Programme de Recherche

# Calcul d'une ombre douce

Éclairement direct d'une source surfacique en  $x$  :

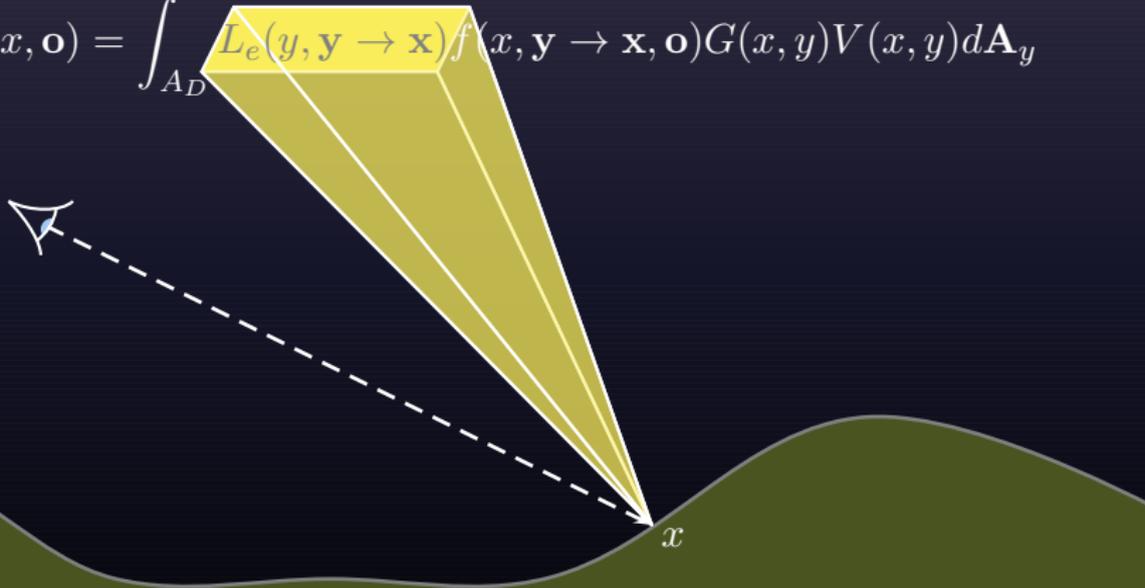
$$L_{\text{direct}}(x, \mathbf{o}) = \int_{A_D} L_e(y, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}) f(x, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}, \mathbf{o}) G(x, y) V(x, y) d\mathbf{A}_y$$



# Calcul d'une ombre douce

Éclairement direct d'une source surfacique en  $x$  :

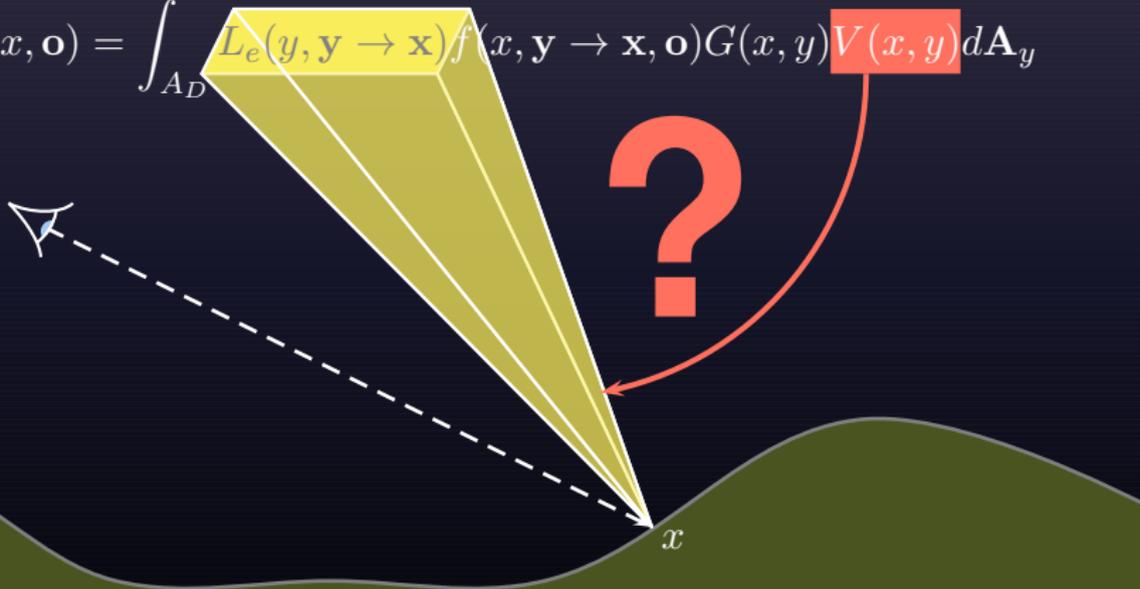
$$L_{\text{direct}}(x, \mathbf{o}) = \int_{A_D} L_e(y, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}) f(x, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}, \mathbf{o}) G(x, y) V(x, y) d\mathbf{A}_y$$



# Calcul d'une ombre douce

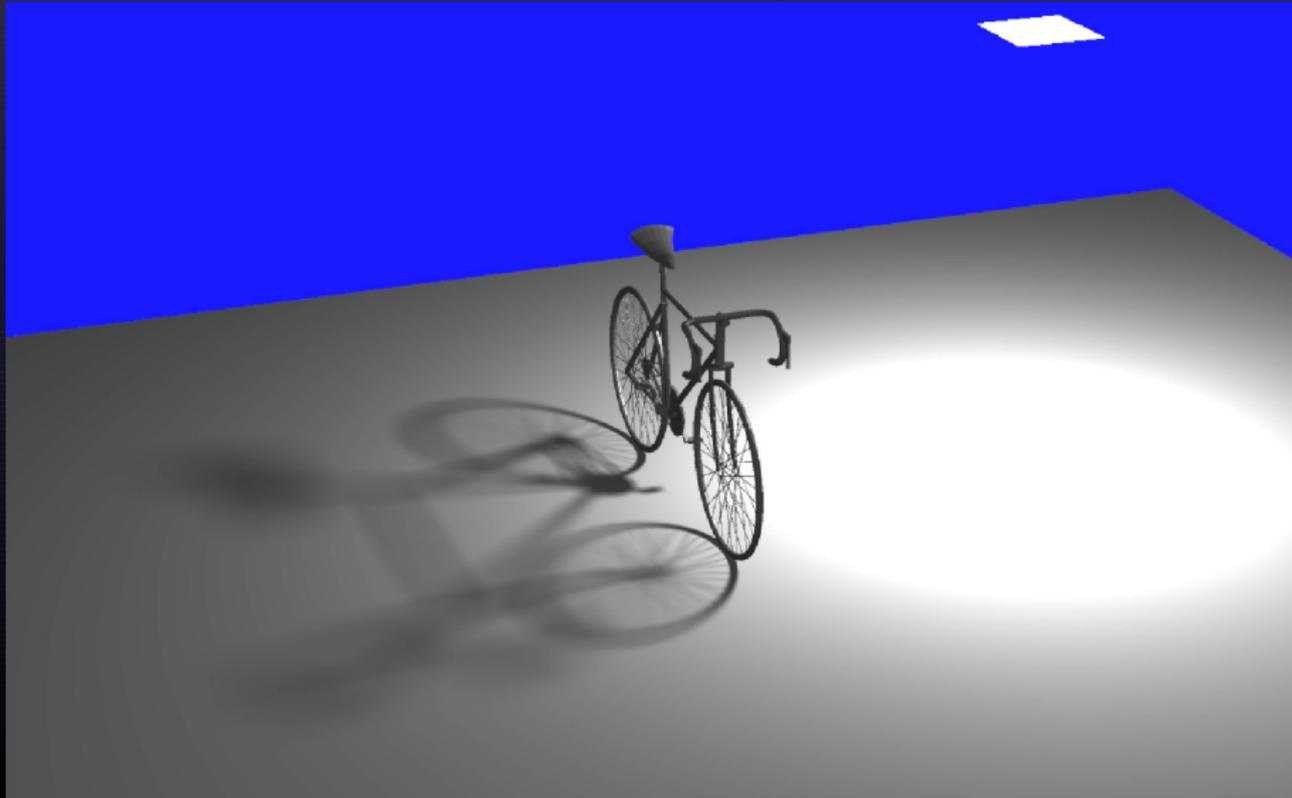
Éclairage direct d'une source surfacique en  $x$  :

$$L_{\text{direct}}(x, \mathbf{o}) = \int_{A_D} L_e(y, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}) f(x, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}, \mathbf{o}) G(x, y) V(x, y) d\mathbf{A}_y$$



# Calcul d'une ombre douce

Éclairage direct d'une source surfacique en  $x$  :



# Calcul d'une ombre douce

---

Éclairement direct d'une source surfacique en  $x$  :

$$L_{\text{direct}}(x, \mathbf{o}) = \int_{A_D} L_e(y, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}) f(x, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}, \mathbf{o}) G(x, y) V(x, y) d\mathbf{A}_y$$

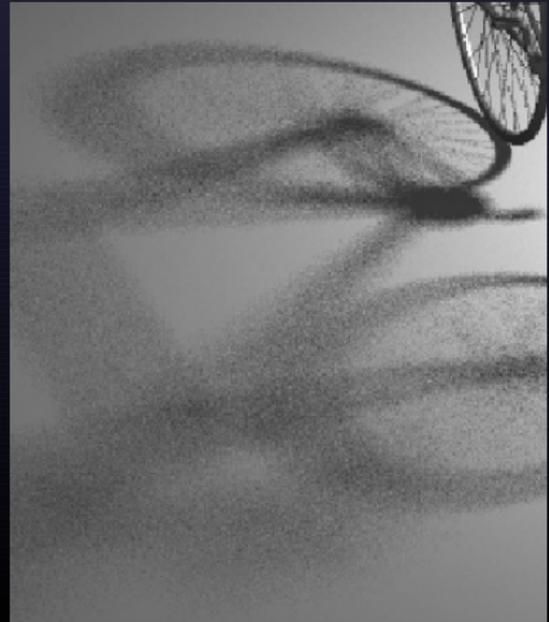
Une solution : intégration de Monte-Carlo

$$\hat{L}_{\text{direct}} \sim \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{L_e(y_i, \mathbf{y}_i \rightarrow \mathbf{x}) f(x, \mathbf{y}_i \rightarrow \mathbf{x}, \mathbf{o}) G(x, y_i) V(x, y_i)}{\text{pdf}(y_i)} \right\}$$

# Calcul d'une ombre douce

Éclairement direct d'une source surfacique en  $x$  :

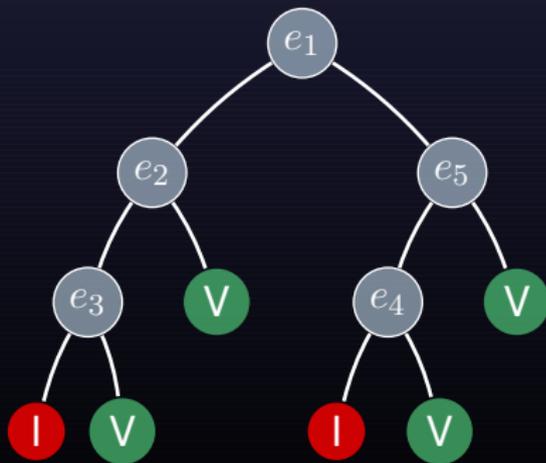
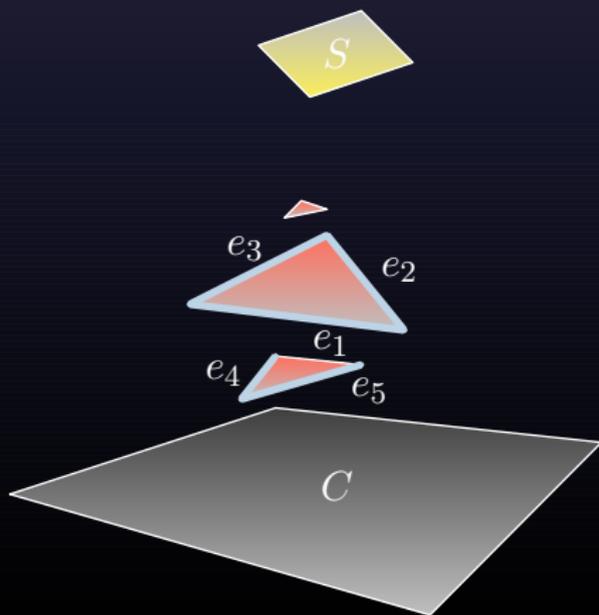
$$L_{\text{direct}}(x, \mathbf{o}) = \int_{A_D} L_e(y, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}) f(x, \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{x}, \mathbf{o}) G(x, y) V(x, y) d\mathbf{A}_y$$



# Ombre : précalcul d'occultation

[Mora 2005c, Charneau 2007a]

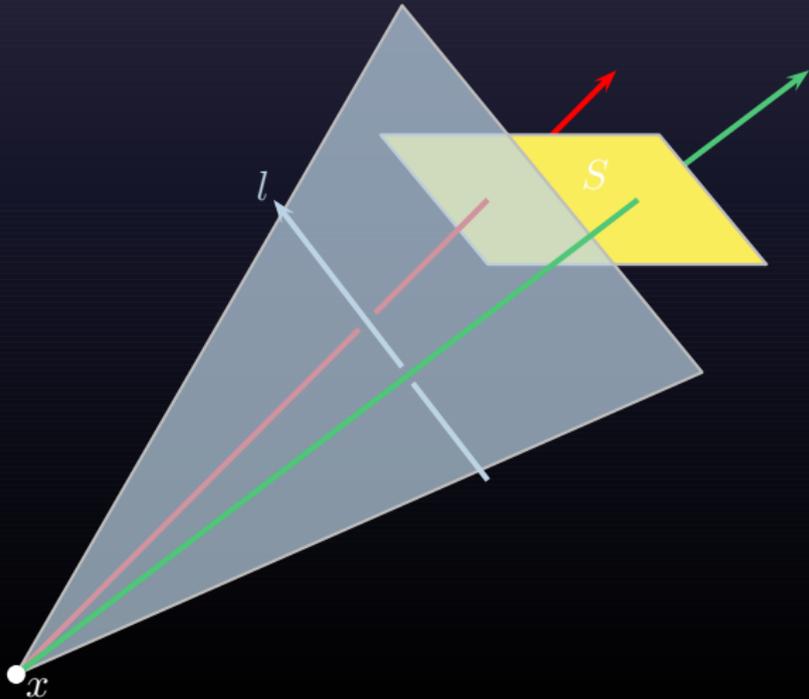
- Calcul d'occultation (source, polygone)  $\rightarrow$  arbre BSP
- $V(x, \cdot)$  est directement extrait de cet arbre



# Ombre : précalcul d'occultation

[Mora 2005c, Charneau 2007a]

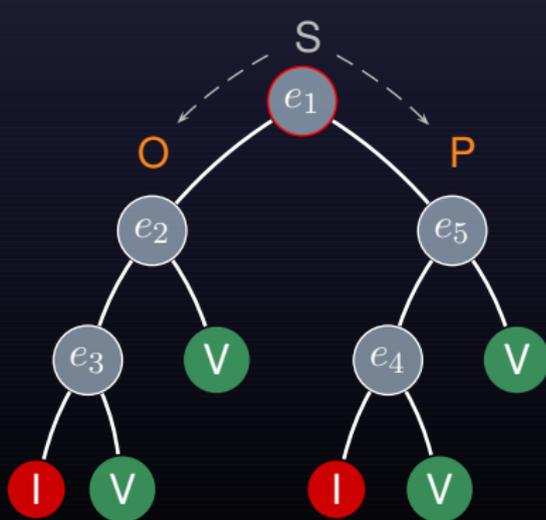
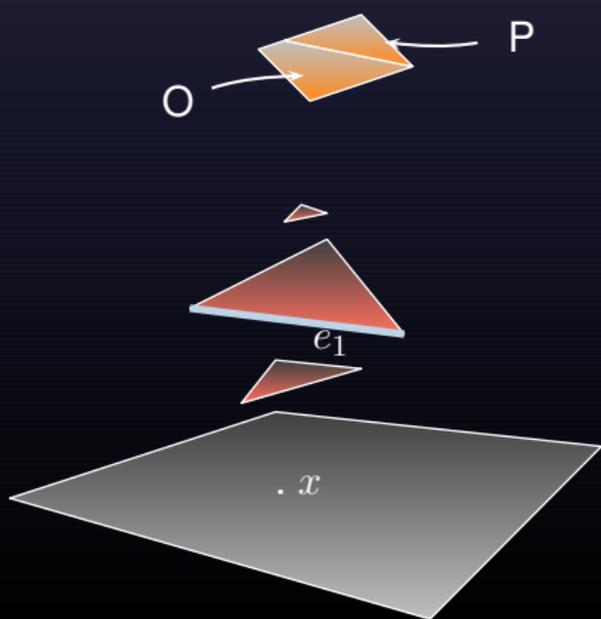
- Calcul d'occultation (source, polygone)  $\rightarrow$  arbre BSP
- $V(x, \cdot)$  est directement extrait de cet arbre



# Ombre : précalcul d'occultation

[Mora 2005c, Charneau 2007a]

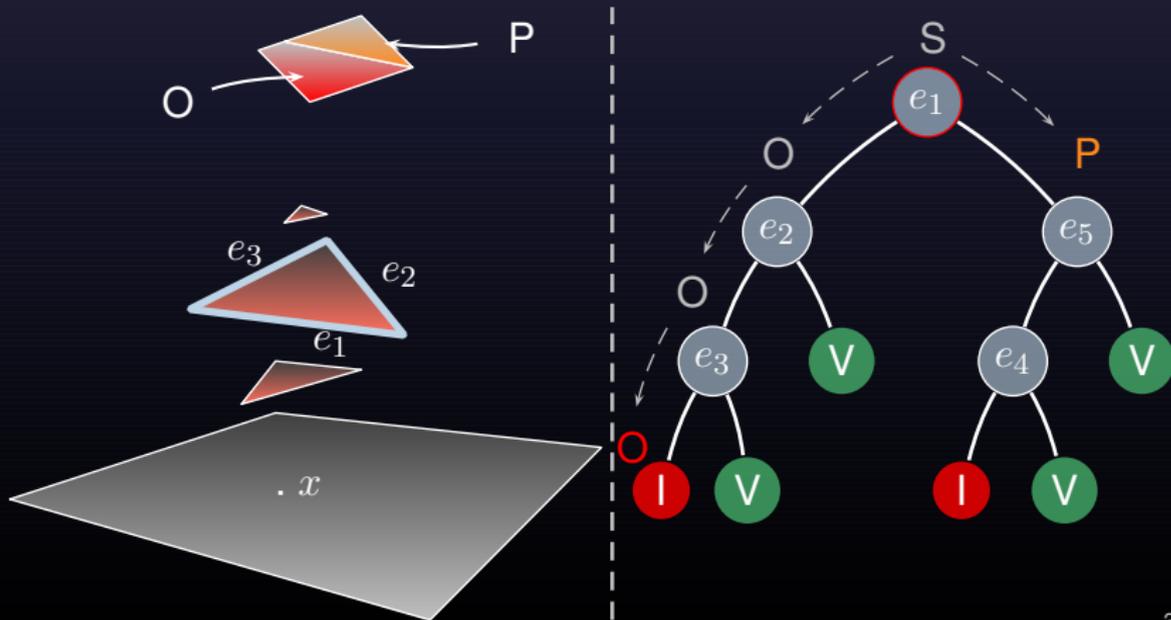
- Calcul d'occultation (source, polygone)  $\rightarrow$  arbre BSP
- $V(x, \cdot)$  est directement extrait de cet arbre
- Plus rapide que MC, visibilité exacte



# Ombre : précalcul d'occultation

[Mora 2005c, Charneau 2007a]

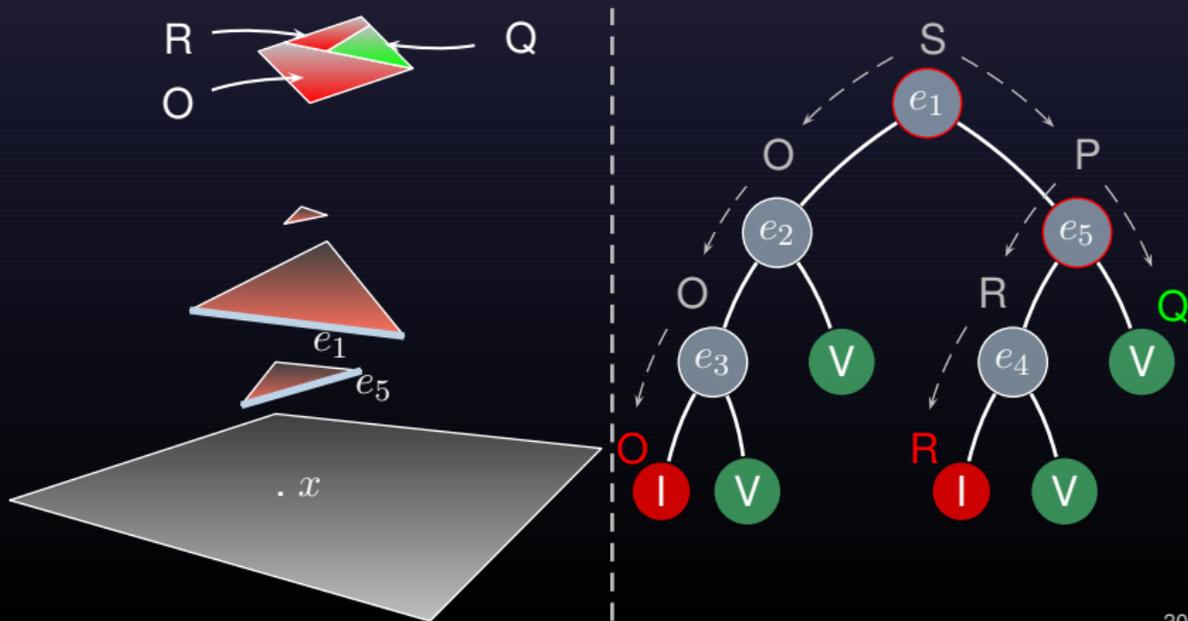
- Calcul d'occultation (source, polygone)  $\rightarrow$  arbre BSP
- $V(x, \cdot)$  est directement extrait de cet arbre
- Plus rapide que MC, visibilité exacte



# Ombre : précalcul d'occultation

[Mora 2005c, Charneau 2007a]

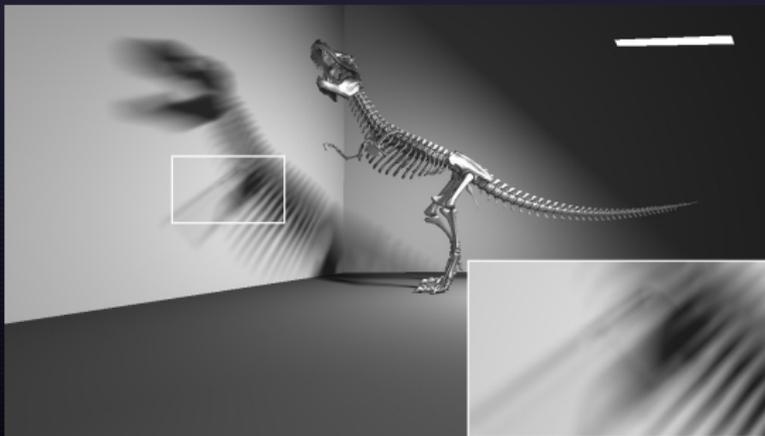
- Calcul d'occultation (source, polygone)  $\rightarrow$  arbre BSP
- $V(x, \cdot)$  est directement extrait de cet arbre
- Plus rapide que MC, visibilité exacte



# Ombre : évaluation paresseuse

[Mora 2012, Mora 2013]

- Idem, sauf que l'arbre BSP est développé à la demande
- Scènes beaucoup plus complexes



TRex, 6.5 secondes  
27k polygones



1 mn 22 sec., 512 rayons

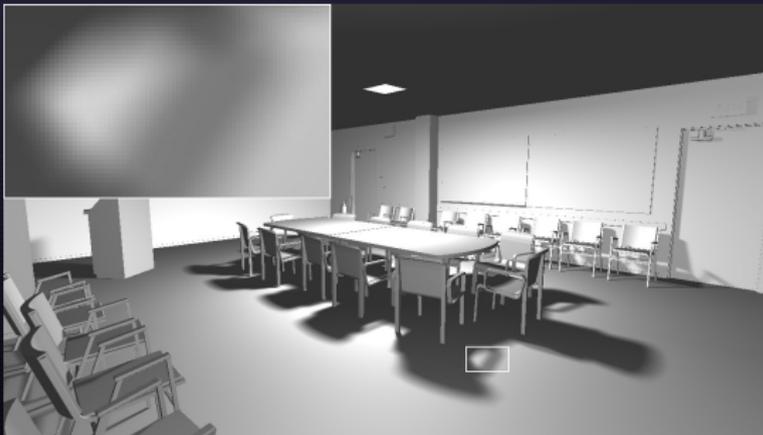


7 secondes, 32 rayons

# Ombre : évaluation paresseuse

[Mora 2012, Mora 2013]

- Idem, sauf que l'arbre BSP est développé à la demande
- Scènes beaucoup plus complexes



Conférence, 6 secondes  
282k polygones



24 sec., 256 rayons

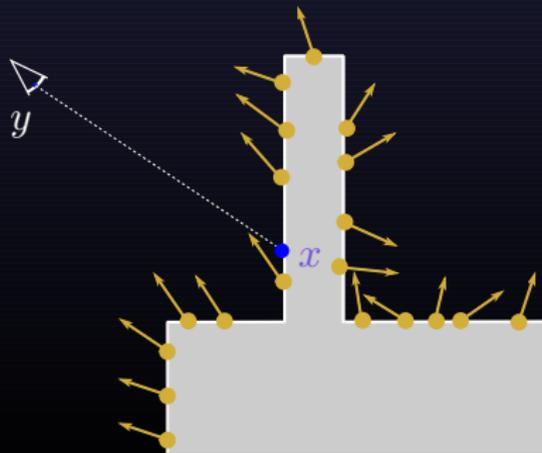


6 secondes, 32 rayons

# Biais dans les cartes de photons

- Deux étapes :
  1. Dépôt de *photons*
  2. Rendu depuis un point de vue

[Perrot 2014]



# Biais dans les cartes de photons

- Deux étapes :
  1. Dépôt de *photons*
  2. Rendu depuis un point de vue
- Estimation par noyau

[Perrot 2014]

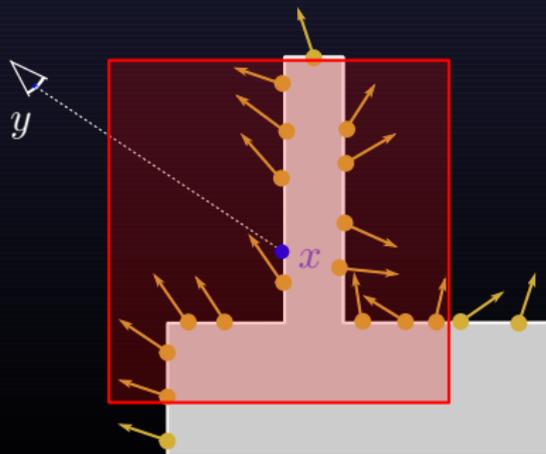
$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i)$$

où  $K_h$  est le **noyau**

Avec

$$\int_{\mathbb{R}^3} K_h(\mathbf{x} - \mathbf{z}) d\mathbf{z} = 1$$

→ Estimation biaisée !



# Biais dans les cartes de photons

- Deux étapes :
  1. Dépôt de *photons*
  2. Rendu depuis un point de vue
- Estimation par noyau

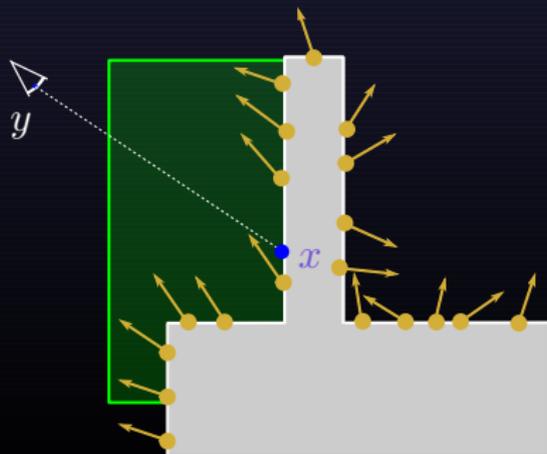
[Perrot 2014]

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i)$$

où  $K_h$  est le **noyau**

Visibilité pour calculer  
domaine restreint

$$\int_{\mathbf{D}} K_h(\mathbf{x} - \mathbf{z}) d\mathbf{z} = 1$$



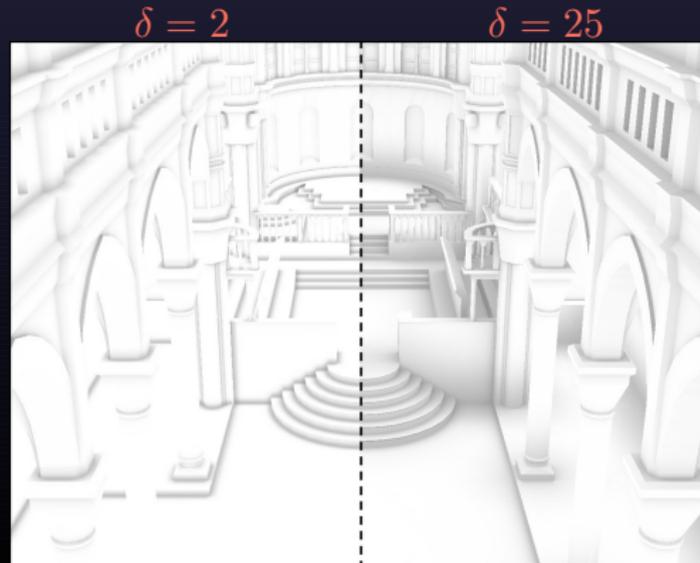
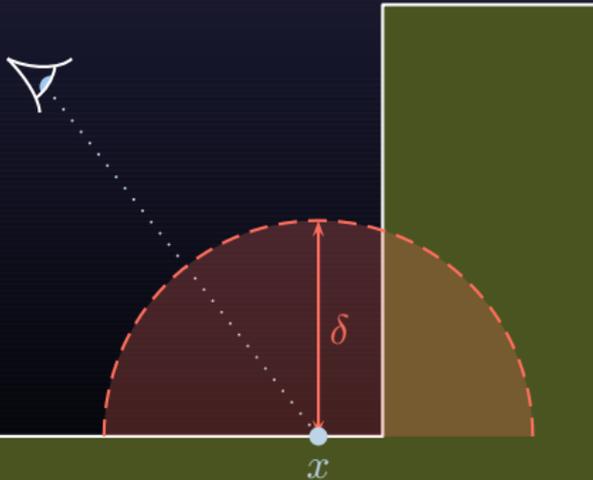
# Calculer l'occlusion ambiante

Approximation éclairage indirect :

[Apostu 2012]

$$\mathbf{OA}(\mathbf{x}) = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} V_{\delta}(\mathbf{x}, \omega) (\mathbf{n} \cdot \omega) d\omega,$$

Avec  $\delta$  une distance donnée et  $V_{\delta} \in [0 \dots 1]$



# Calculer l'occlusion ambiante

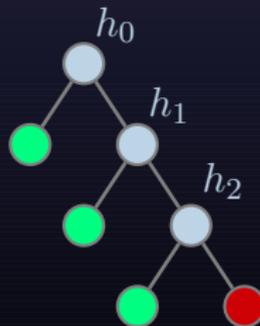
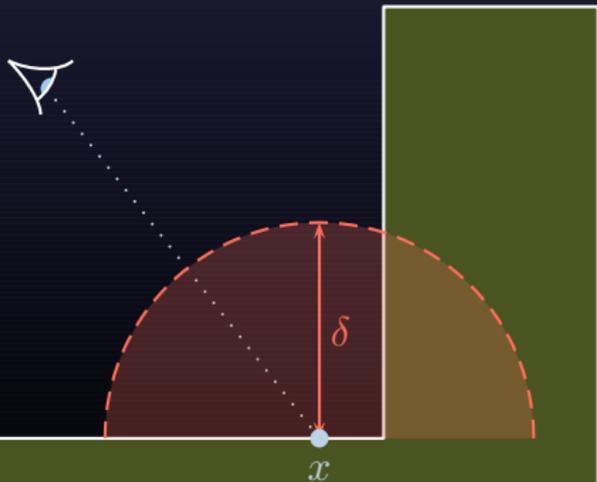
Approximation éclairage indirect :

[Apostu 2012]

$$\mathbf{OA}(\mathbf{x}) = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} V_{\delta}(\mathbf{x}, \omega) (\mathbf{n} \cdot \omega) d\omega,$$

Avec  $\delta$  une distance donnée et  $V_{\delta} \in [0 \dots 1]$

→ Nouvelle version du calcul d'occlusion (avec profondeur)



# Calculer l'occlusion ambiante

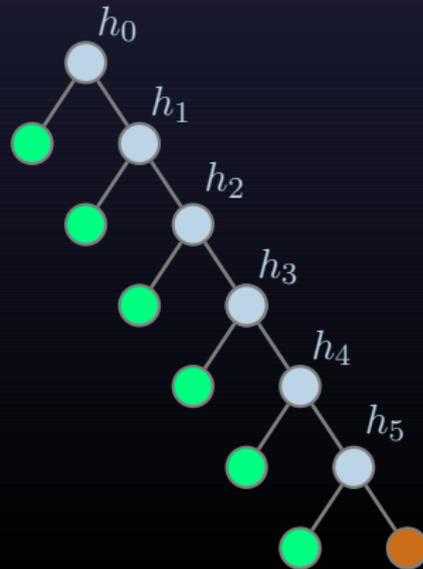
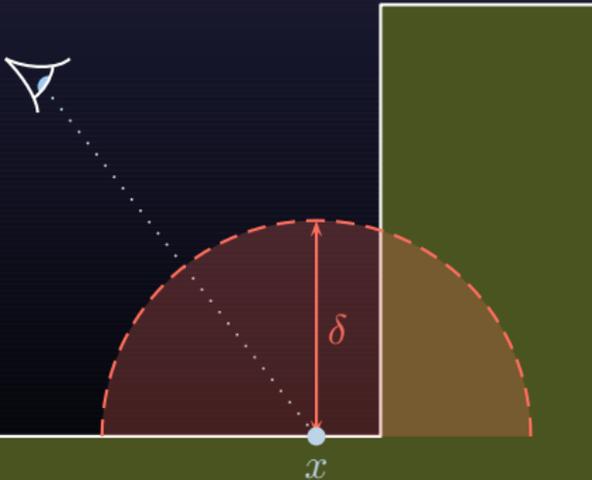
Approximation éclairage indirect :

[Apostu 2012]

$$\mathbf{OA}(\mathbf{x}) = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} V_{\delta}(\mathbf{x}, \omega) (\mathbf{n} \cdot \omega) d\omega,$$

Avec  $\delta$  une distance donnée et  $V_{\delta} \in [0 \dots 1]$

→ Nouvelle version du calcul d'occlusion (avec profondeur)



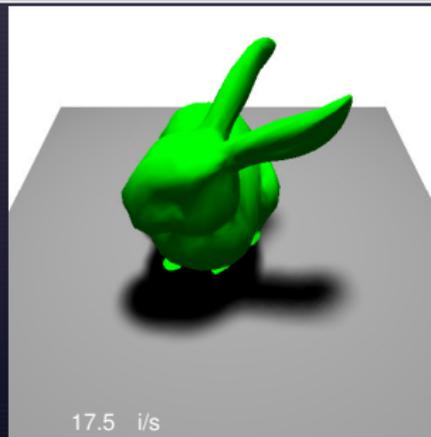
# Autres travaux

## Lobes cosinus

[Meunier 2010]

- Fonction type  $s \max(\mathbf{a} \cdot \mathbf{o}, 0)^e$
- Pré-calculs Produit & Intégration
- BRDF usuelles
- Visibilité :

$$1 - \sum C_i$$



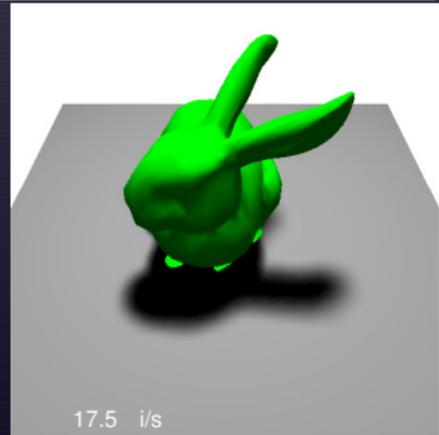
# Autres travaux

## Lobes cosinus

[Meunier 2010]

- Fonction type  $s \max(\mathbf{a} \cdot \mathbf{o}, 0)^e$
- Pré-calculs Produit & Intégration
- BRDF usuelles
- Visibilité :

$$1 - \sum C_i$$



17.5 i/s

## Visualisation [Maria 2013, Maria 2014]

- Cellules vides :  
→ parcours & intersection
- Cellules convexes :  
→ parcours rapide
- Lancé de rayons, éclairage direct

(450k, 3250) 1226 Mrays.s<sup>-1</sup>

# Plan

---

⇒ Curriculum Vitae

⇒ Simulation de propagation

⇒ Visibilité en dimension  $n \geq 2$

⇒ Applications au Rendu

⇒ Conclusion & Programme de Recherche

# Conclusions

---

3 axes de recherches

- ① **Simulation** de propagation d'ondes
  - Deux simulateurs (CRT, RaPSor)
  - Diverses applications (Radio, Radar ULB, Tunnels ...)

# Conclusions

---

## 3 axes de recherches

- ① **Simulation** de propagation d'ondes
  - Deux simulateurs (CRT, RaPSor)
  - Diverses applications (Radio, Radar ULB, Tunnels ...)
- ② **Visibilité** en dimension  $n \geq 2$ 
  - Amélioration et fusion des travaux antérieurs
  - Nouveau modèle : algèbre de Grassmann
  - Nouveaux algorithmes

# Conclusions

---

## 3 axes de recherches

- ① **Simulation** de propagation d'ondes
  - Deux simulateurs (CRT, RaPSor)
  - Diverses applications (Radio, Radar ULB, Tunnels ...)
- ② **Visibilité** en dimension  $n \geq 2$ 
  - Amélioration et fusion des travaux antérieurs
  - Nouveau modèle : algèbre de Grassmann
  - Nouveaux algorithmes
- ③ **Rendu**
  - Applications calcul visibilité
    - Ombres douces, Carte photons, Occlusion ambiante
  - Lobes de cosinus, Visualisation interactive

# Conclusions

---

## 3 axes de recherches

- ① **Simulation** de propagation d'ondes
  - Deux simulateurs (CRT, RaPSor)
  - Diverses applications (Radio, Radar ULB, Tunnels ...)
- ② **Visibilité** en dimension  $n \geq 2$ 
  - Amélioration et fusion des travaux antérieurs
  - Nouveau modèle : algèbre de Grassmann
  - Nouveaux algorithmes
- ③ **Rendu**
  - Applications calcul visibilité
    - Ombres douces, Carte photons, Occlusion ambiante
  - Lobes de cosinus, Visualisation interactive

## Encadrement :

- 5 thèses de doctorat soutenues
- 2 thèses en cours
- 11 stages DEA ou master recherche

# Court terme : rendu

---

Thèse Maria : cellules et passages

- ✓ Efficacité prouvée
- ✗ Nécessite modèle topologique
- ✗ Objets impliquent structure annexe

Poursuite de thèse

- Reconstruction depuis soupe triangles
  - Volume convexe à bords quelconques
  - Heuristique Aire-Surface
- rester plus rapide que Aila (NVidia)

# Court terme : simulation optique

## Motivations

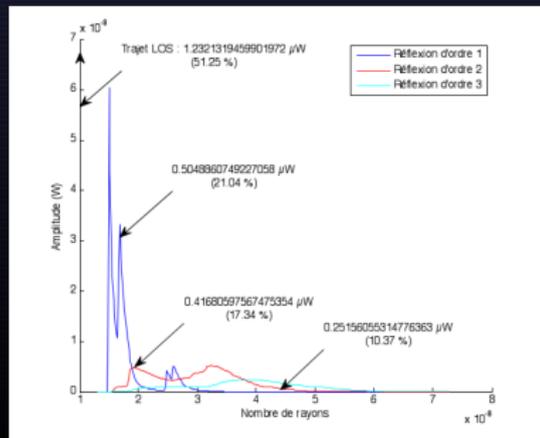
- Radio est limitée :
  - Fréquences libres ?
  - Nocivité ?
- LiFi : optique sans-fil comme support de communication

## Premiers travaux dans RaPSor

- Calculer réponse *temporelle*

$$L_o(x, t, \mathbf{o}) = L_e(x, t, \mathbf{o}) + \int_{\Omega} L_i(x, t, \mathbf{i}) f_r(x, \mathbf{i}, \mathbf{o}) (\mathbf{n}_x \cdot \mathbf{i}) d\mathbf{i}$$

- Valider méthodes de rendu ?
- Thèse A. Behlouli (2016)



# Court terme : visibilité

---

Produit géométrique :

$$\mathbf{ab} = \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} + \mathbf{a} \wedge \mathbf{b}$$

Passage au modèle conforme

- Représentation des cercles et hypersphères
- Transformations affines quelconques = doubles produits

Orientation dans l'espace des 3-vecteurs

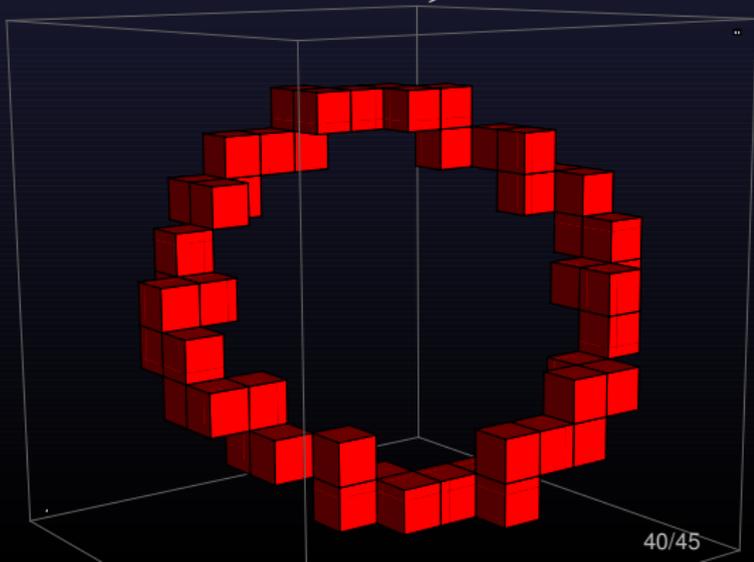
- Espace des cercles / droites
- Orientation droite et cercle ?
  - aller plus vite, moins de mémoire
- Collaboration avec Angel Tenorio, Séville

# Moyen terme : algèbres

## Géométrie discrète

- Jouer aux cubes dans  $\mathbb{Z}^n$
- Exprimer objets discrets dans  $\wedge (\mathbb{R}^{n+1,1})$
- Exemple du cercle (la droite) en dimension 3 :

$$\{\mathbf{p} \in \mathbb{Z}^3 \mid -1 \leq p \cdot (a \wedge b \wedge c) \leq 1\}$$



# Moyen terme : algèbres

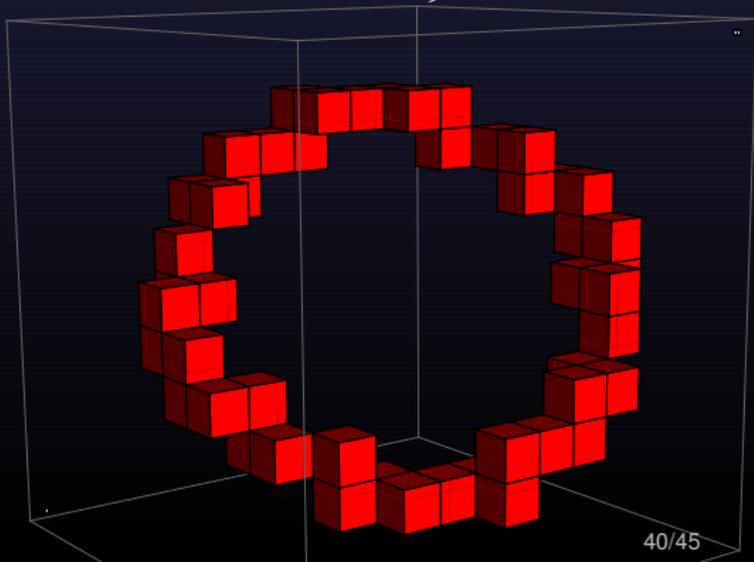
## Géométrie discrète

- Jouer aux cubes dans  $\mathbb{Z}^n$
- Exprimer objets discrets dans  $\wedge (\mathbb{R}^{n+1,1})$
- Exemple du cercle (la droite) en dimension 3 :

$$\{\mathbf{p} \in \mathbb{Z}^3 \mid -1 \leq p \cdot (a \wedge b \wedge c) \leq 1\}$$

→ Unification algorithme  
reconnaissance

- droite/cercle,
- plan/sphère,
- en dimension  $n \dots$



# Moyen terme : rendu

---

Calcul visibilité & structure accélératrice  $\sim$  arbre binaire

- Coût du parcours en  $\mathcal{O}(\log n)$ , ou plus
- Coût du stockage ?

Vers une structure de taille  $\mathcal{O}(n)$

- Plus de duplication de la géométrie
  - Un noeud = un triangle
- Construction en  $\mathcal{O}(n \log n)$ 
  - $\approx$  Tri d'un tableau (quicksort)

# Moyen terme : rendu

RT : 30.64 FPS

Calcul visibilité & structure accélératrice ~ **arbre binaire**

- Coût du parcours en  $\mathcal{O}(\log n)$ , ou plus
- Coût du stockage ?

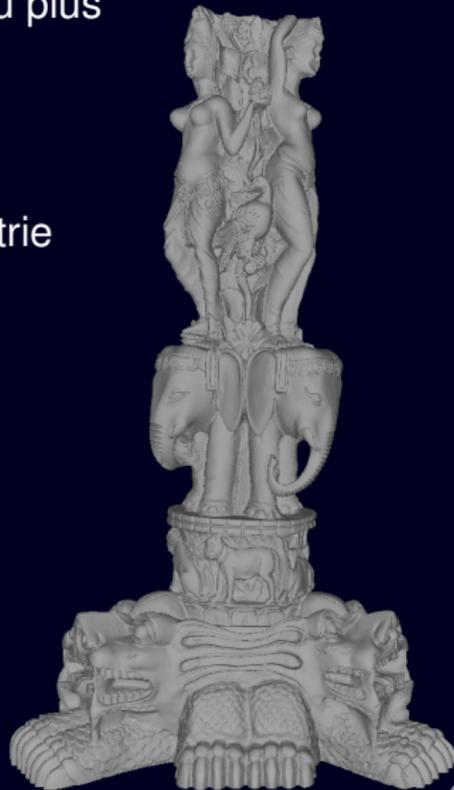
Vers une structure de **taille**  $\mathcal{O}(n)$

- Plus de duplication de la géométrie
  - Un noeud = un triangle
- Construction en  $\mathcal{O}(n \log n)$ 
  - ≈ Tri d'un tableau (quicksort)

**Prototypes :**

visibilité & visualisation

- Statue *thaïe*  
(10 millions triangles)
- Visualisation 30 M pixel/s



# Moyen terme : simulation

---

## Simulation optique en environnement animé

- Validation modèle communication en environnement réaliste
- Contexte hospitalier
- Collaboration avec département C<sup>2</sup>S<sup>2</sup> d'XLIM

## Application travaux antérieurs sur la visibilité

- Espace de dimension 4 =  $\mathcal{G}_3 + t$
- Définir plage temporelle *stable*
- Limiter l'échantillonnage temporel

→ Lien avec animation en rendu ...

# Long terme ...

---

## Poursuite travaux dans les 3 axes

- Simulation
  - Visibilité dans RaPSor
  - Simulation acoustique
- Algèbres géométriques
  - Équation de transport
- Rendu
  - Visibilité hiérarchique, LOD, VAL ...

# Long terme ...

---

## Poursuite travaux dans les 3 axes

- Simulation
  - Visibilité dans RaPSor
  - Simulation acoustique
- Algèbres géométriques
  - Équation de transport
- Rendu
  - Visibilité hiérarchique, LOD, VAL ...

柔術

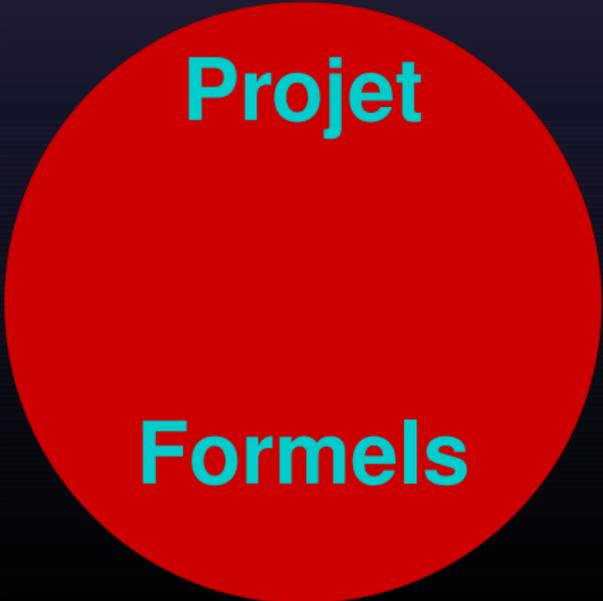
### S'adapter :

- à l'environnement
- aux collaborations
- et surtout aux étudiants ...

## Projet

# Synoptique

---

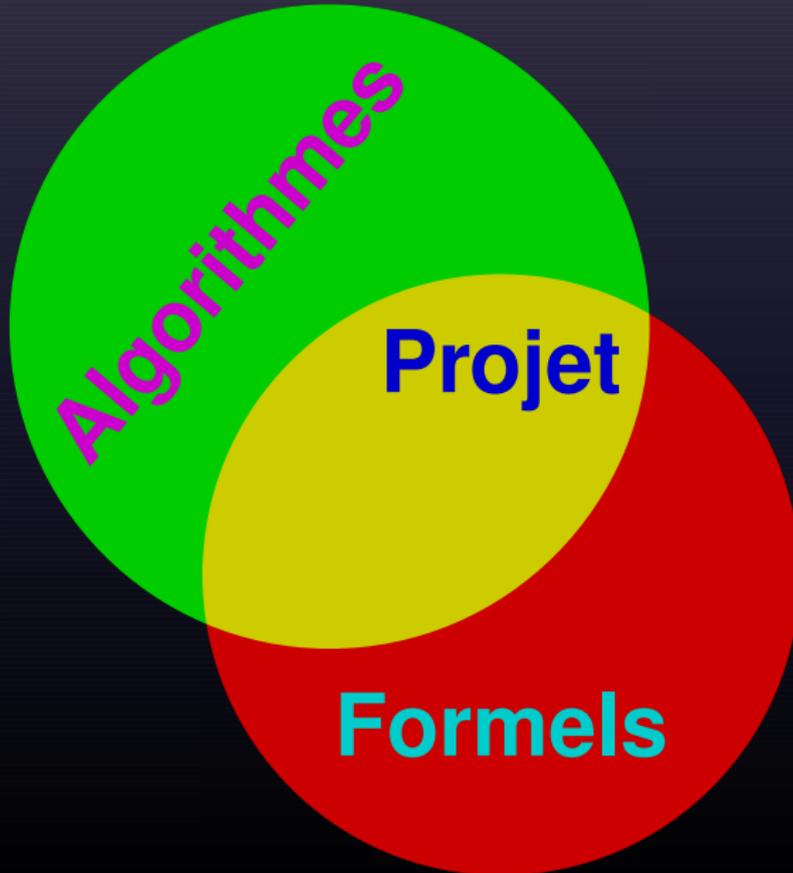


**Projet**

**Formels**

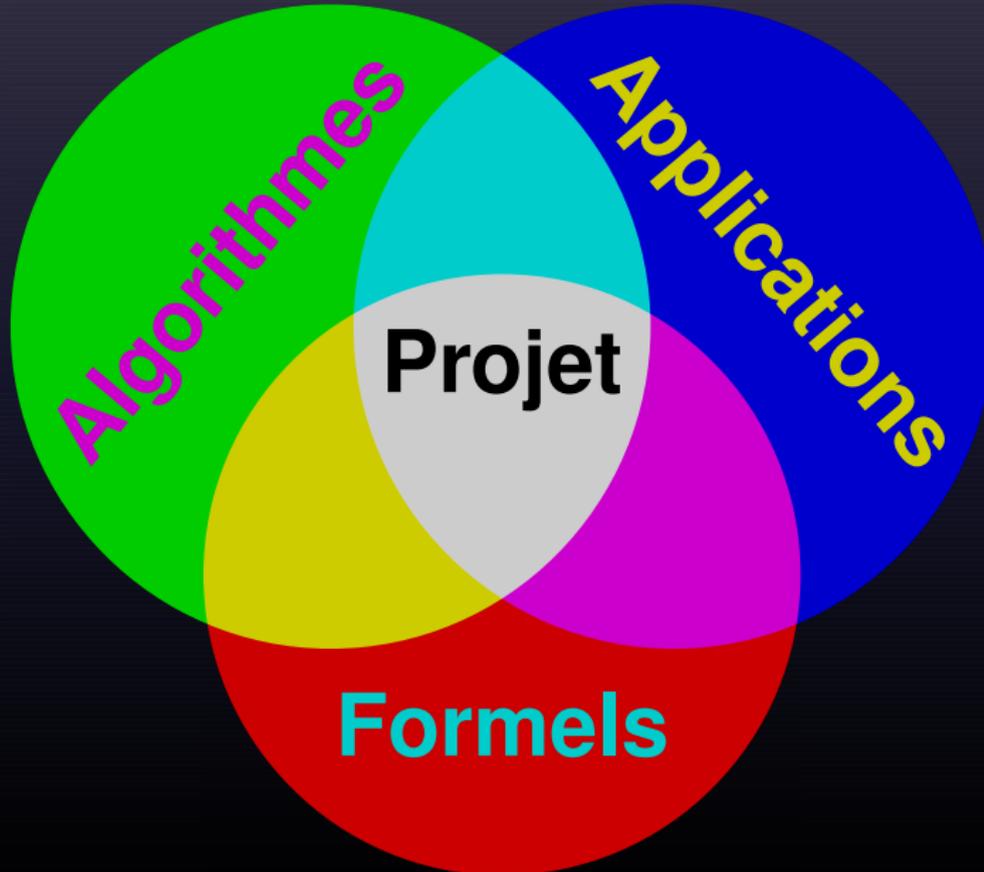
# Synoptique

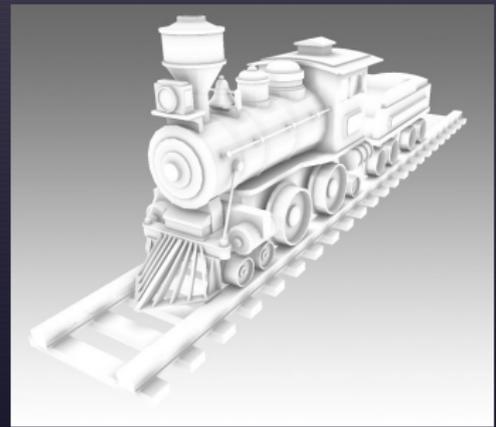
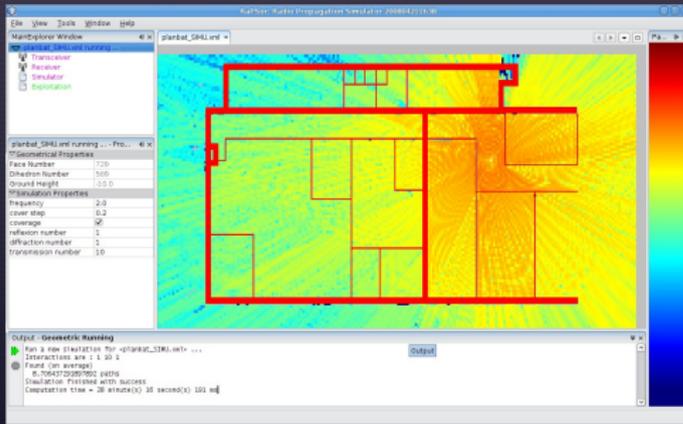
---



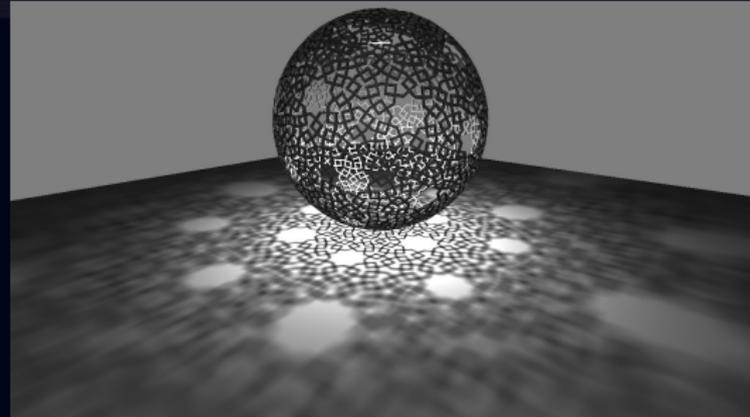
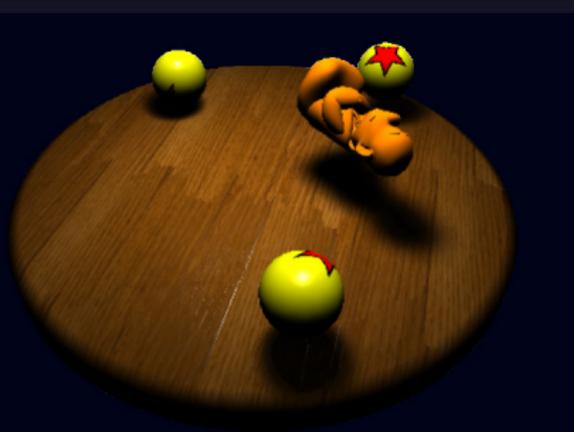
# Synoptique

---





# Ceci n'est pas la fin



# Supplément

# Simulation : résumé

---

## Logiciel CRT

- Greffons géométrique & “oracle”
- Simulation en dimension 2 (P. Combeau)
- Méthodes hybrides (S. Reynaud, Y. Cocheril)

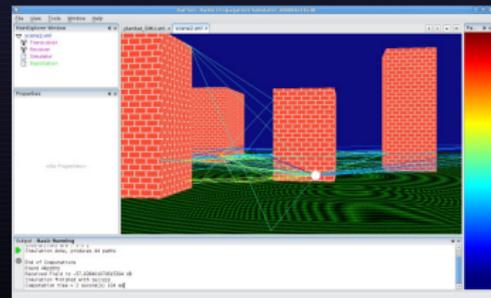
# Simulation : résumé

## Logiciel CRT

- Greffons géométrique & “oracle”
- Simulation en dimension 2 (P. Combeau)
- Méthodes hybrides (S. Reynaud, Y. Cocheril)

## Logiciel RaPSor

- Portable, extensible, maintenance
- Multi-physique



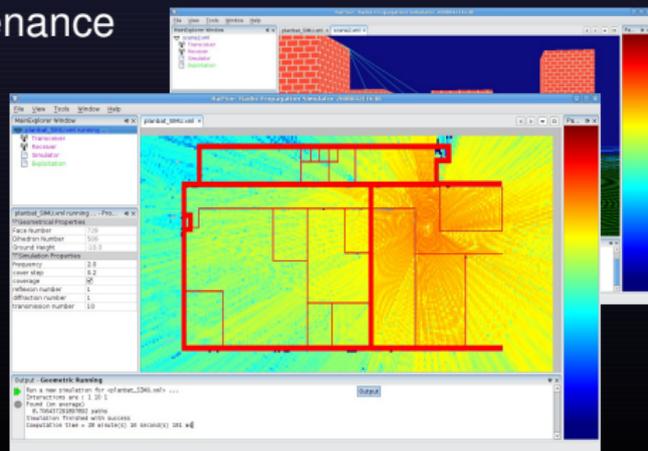
# Simulation : résumé

## Logiciel CRT

- Greffons géométrique & “oracle”
- Simulation en dimension 2 (P. Combeau)
- Méthodes hybrides (S. Reynaud, Y. Cocheril)

## Logiciel RaPSor

- Portable, extensible, maintenance
- Multi-physique
- Radar *Ultra Large Band*



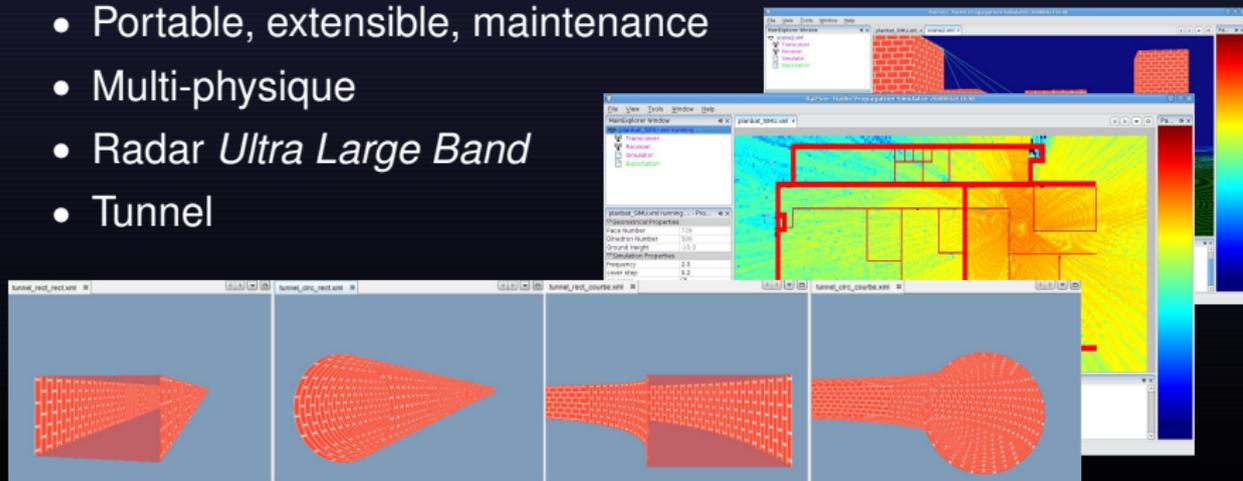
# Simulation : résumé

## Logiciel CRT

- Greffons géométrique & “oracle”
- Simulation en dimension 2 (P. Combeau)
- Méthodes hybrides (S. Reynaud, Y. Cocheril)

## Logiciel RaPSor

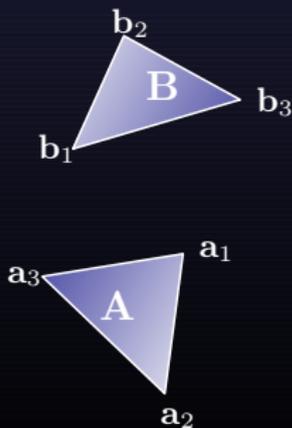
- Portable, extensible, maintenance
- Multi-physique
- Radar *Ultra Large Band*
- Tunnel



# Polytope minimal

Théorème

[Aveneau 2011]

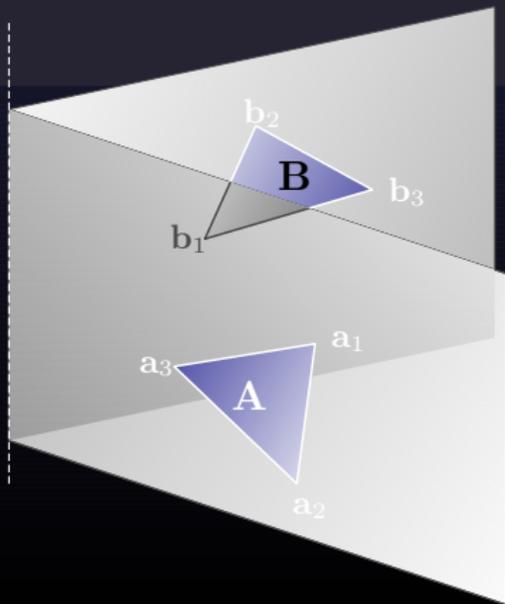


# Polytope minimal

Théorème

[Aveneau 2011]

Si les hyperplans supports de  $A$  et  $B$  ne traversent pas l'intérieur de  $A$  ou  $B$ ,

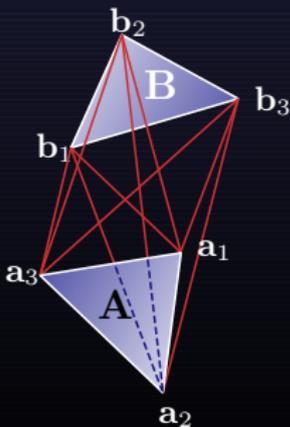


# Polytope minimal

Théorème

[Aveneau 2011]

Si les hyperplans supports de  $A$  et  $B$  ne traversent pas l'intérieur de  $A$  ou  $B$ , alors le **polytope minimal** est l'**enveloppe convexe** des droites  $\boxed{a_i \wedge b_j}$  dans  $\mathcal{D}_n$ ,

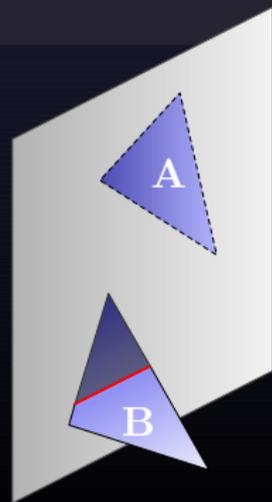
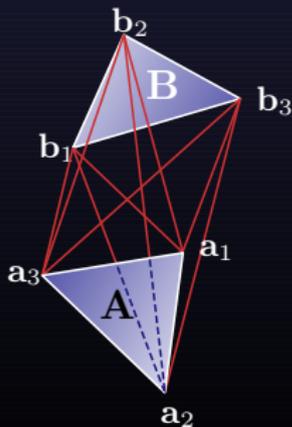


# Polytope minimal

Théorème

[Aveneau 2011]

Si les hyperplans supports de  $A$  et  $B$  ne traversent pas l'intérieur de  $A$  ou  $B$ , alors le **polytope minimal** est l'**enveloppe convexe** des droites  $a_i \wedge b_j$  dans  $\mathcal{D}_n$ , sinon l'ensemble des droites traversant  $A$  puis  $B$  **ne peut être représenté** par un unique ensemble convexe



# Polytope minimal

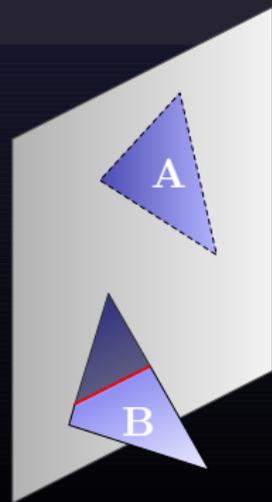
## Théorème

[Aveneau 2011]

Si les hyperplans supports de  $A$  et  $B$  ne traversent pas l'intérieur de  $A$  ou  $B$ , alors le **polytope minimal** est l'**enveloppe convexe** des droites  $a_i \wedge b_j$  dans  $\mathcal{D}_n$ , sinon l'ensemble des droites traversant  $A$  puis  $B$  **ne peut être représenté** par un unique ensemble convexe

## Implications

- Représentation calculable d'un polytope minimal en dimension  $n \geq 2$



# Polytope minimal

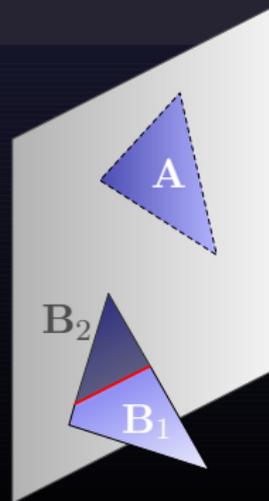
## Théorème

[Aveneau 2011]

Si les hyperplans supports de  $A$  et  $B$  ne traversent pas l'intérieur de  $A$  ou  $B$ , alors le **polytope minimal** est l'**enveloppe convexe** des droites  $a_i \wedge b_j$  dans  $\mathcal{D}_n$ , sinon l'ensemble des droites traversant  $A$  puis  $B$  **ne peut être représenté** par un unique ensemble convexe

## Implications

- Représentation calculable d'un polytope minimal en dimension  $n \geq 2$
- Caractérisation et traitement des cas dégénérés  
→ première méthode exacte !



# Résultats

→ Notre méthode, calculs selon Nirenstein, Mora et Charneau



Charneau :	2565
Mora :	4139
Nirenstein :	65964



Charneau :	2052
Mora :	2556
Nirenstein :	3217



Charneau :	10249
Mora :	13732
Nirenstein :	33497

# Résultats

→ Notre méthode, calculs selon Nirenstein, Mora et Charneau



Charneau : 2565  
Mora : 4139  
Nirenstein : 65964



Charneau : 2052  
Mora : 2556  
Nirenstein : 3217



Charneau : 10249  
Mora : 13732  
Nirenstein : 33497



Charneau : 6733



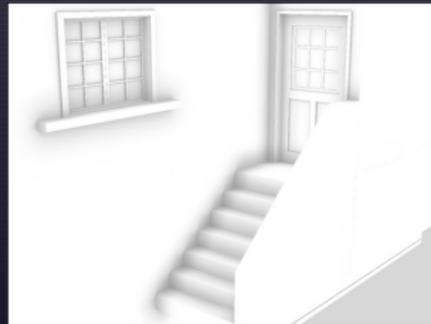
Mora : 8226



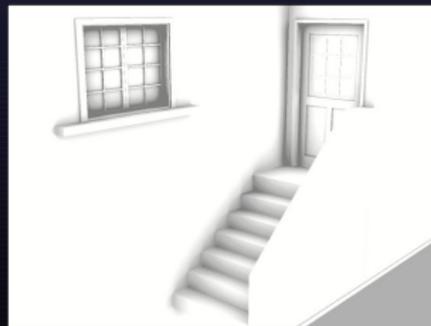
Nirenstein : NC

# Occlusion ambiante : résultat

Arbres



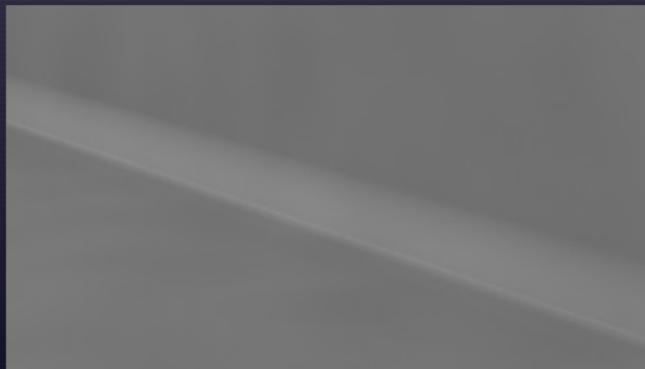
AOV



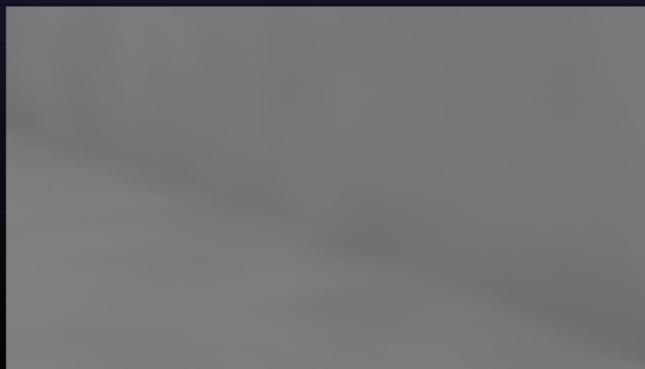
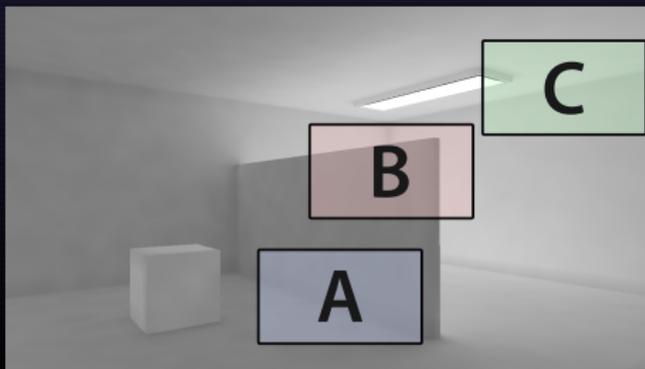
Zoom



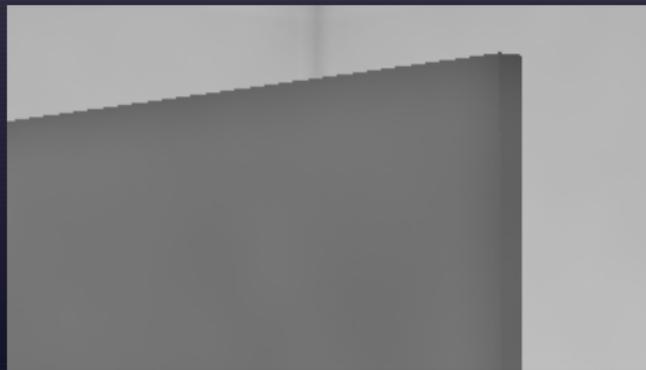
# Réduction des biais : résultats



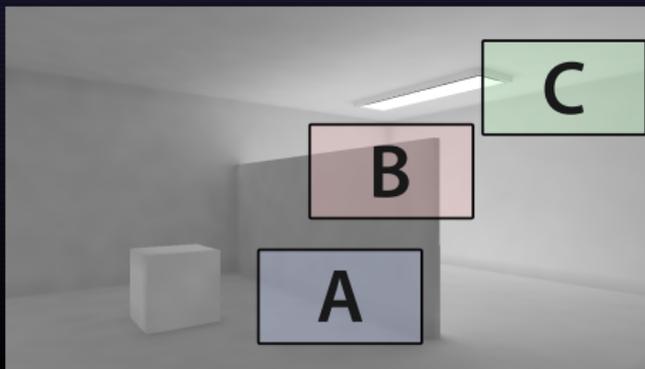
Biais d'occlusion



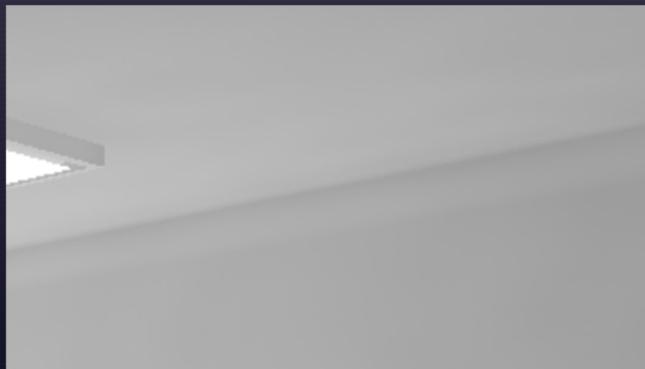
# Réduction des biais : résultats



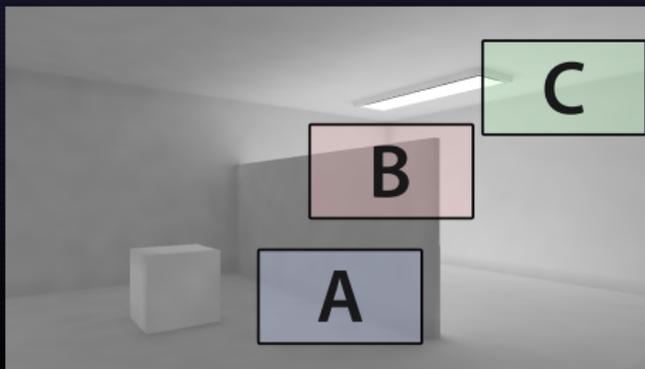
Biais de frontière



# Réduction des biais : résultats



Biais topologique



# Lobes de cosinus

---

Base fonctions particulières

[Meunier 2010]

- Fonctions de type lobe

$$\mathcal{C}_{(s,\mathbf{a},e)}(\mathbf{o}) = s \max(\mathbf{a} \cdot \mathbf{o}, 0)^e$$

# Lobes de cosinus

## Base fonctions particulières

[Meunier 2010]

- Fonctions de type lobe

$$\mathcal{C}_{(s,\mathbf{a},e)}(\mathbf{o}) = s \max(\mathbf{a} \cdot \mathbf{o}, 0)^e$$

## Application pour rendu direct

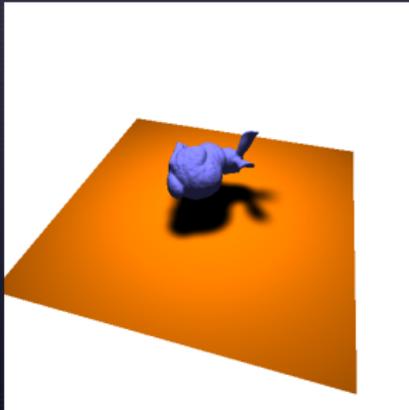
$$L_o(x, \mathbf{o}) = \int_{\Omega_s} L_s(x, \mathbf{i}) \tilde{f}_r(x, \mathbf{i}, \mathbf{o}) V(x, \mathbf{i}) d\omega_{\mathbf{i}}$$

## Mise en oeuvre

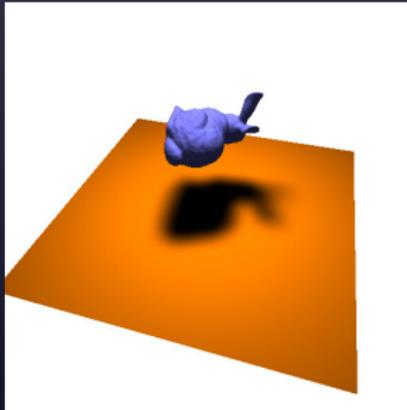
- Produit & Intégration : pré calculés, stockés dans une table
- Fonctionne pour fonctions réflectance usuelles
- Visibilité :

$$1 - \sum C_i$$

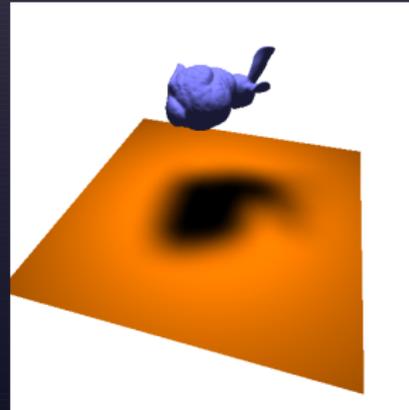
# Lobes de cosinus : résultats



17.9 *i/s*



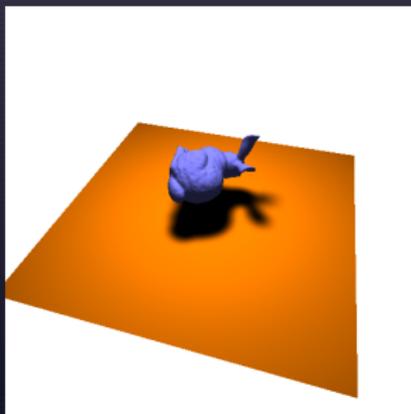
12.3 *i/s*



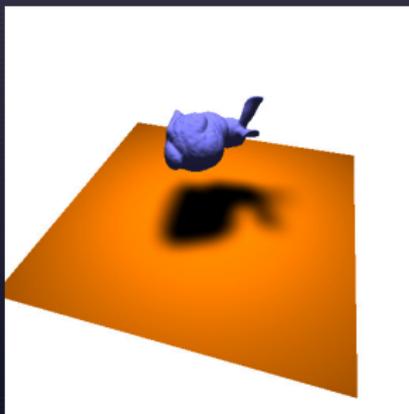
8.0 *i/s*

NVidia 285 GTX

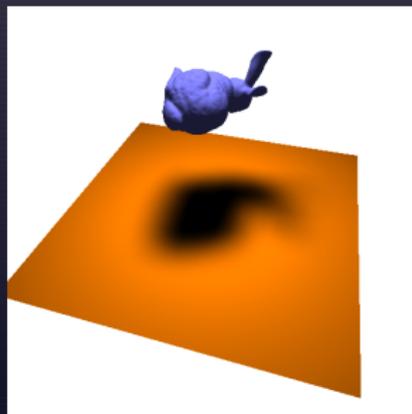
# Lobes de cosinus : résultats



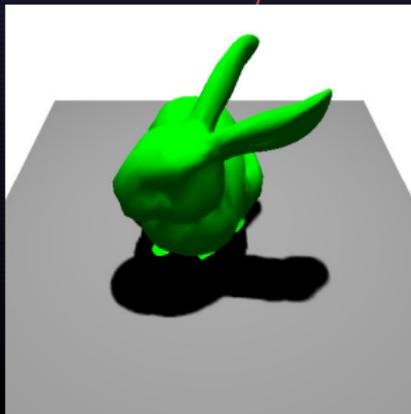
17.9 *i/s*



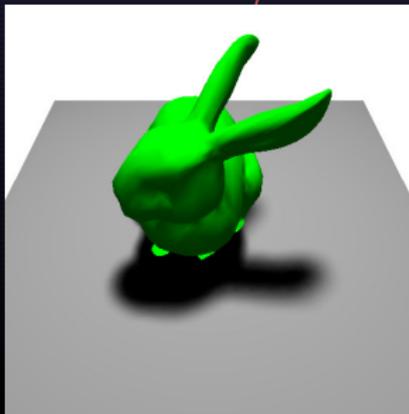
12.3 *i/s*



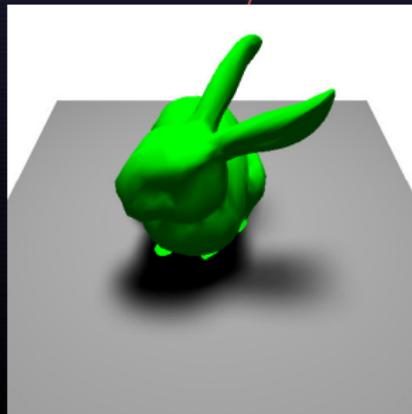
8.0 *i/s*



25.1 *i/s*



17.5 *i/s*



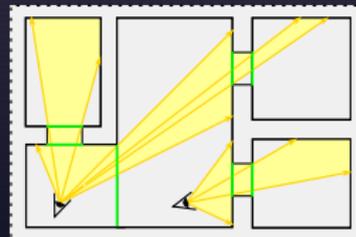
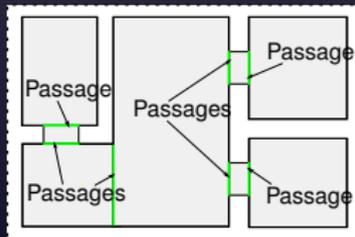
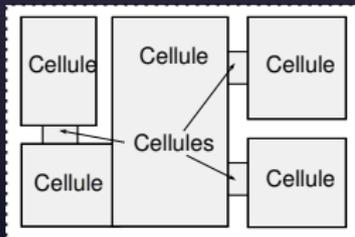
15.3 *i/s* 45/45

# Visualisation interactive

## Visualisation de bâtiments

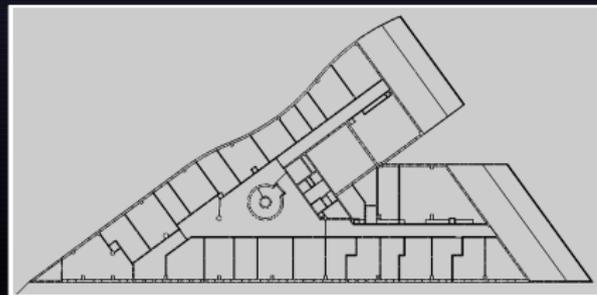
[Maria 2013, Maria 2014]

- Structure cellules-et-passage



## Génération automatique depuis modélisation

- Cellules vides :  
→ mêle parcours + intersection
- Cellules convexes :  
→ parcours rapide
- Lancé de rayons
- Éclairage direct



# Visualisation interactive : résultats

SP2MI (30k)

1186 IPS

1243 Mrays.s<sup>-1</sup>



# Visualisation interactive : résultats

SP2MI (30k)

200 lumières

287 IPS

1325 Mrays.s<sup>-1</sup>



# Visualisation interactive : résultats

SP2MI (30k)

1186 IPS

1243 Mrays.s<sup>-1</sup>



# Visualisation interactive : résultats

SP2MI (30k)



925 IPS

1406 Mrays.s<sup>-1</sup>

# Visualisation interactive : résultats

SP2MI (30k)

200 lumières

287 IPS

1325 Mrays.s<sup>-1</sup>



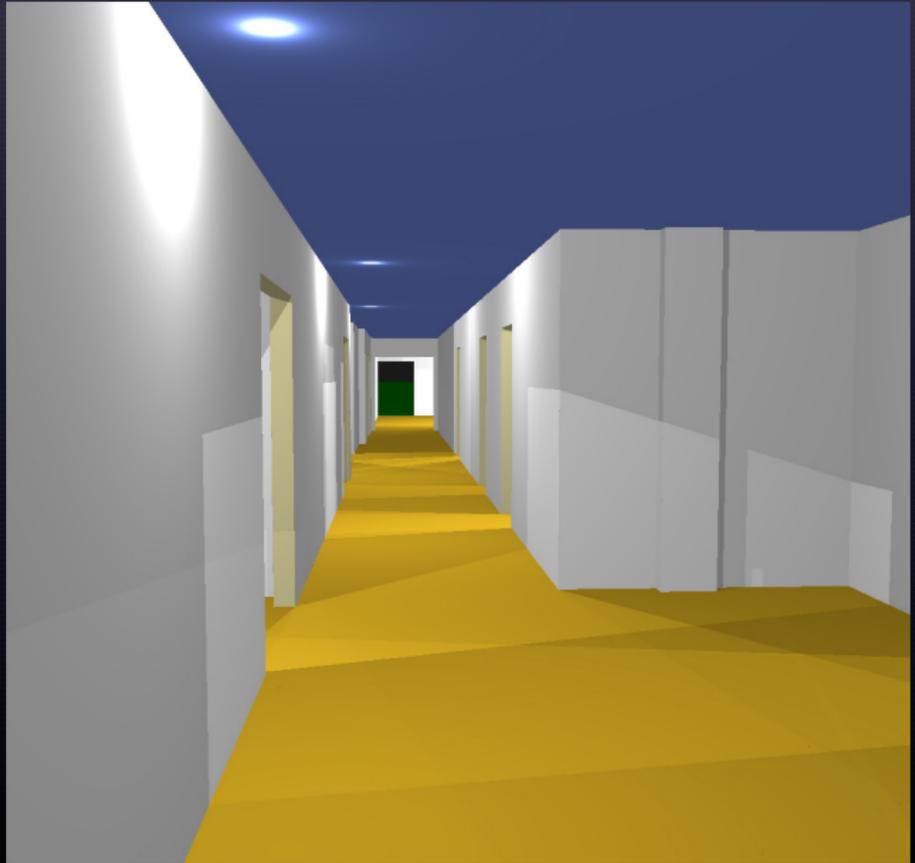
# Visualisation interactive : résultats

Tour (450k)

3250 lumières

134 IPS

1226 Mrays.s<sup>-1</sup>



# Visualisation interactive : résultats

Maison (1m)



181 IPS

190 Mrays.s<sup>-1</sup>

# Visualisation interactive : résultats

Maison (1m)

8 lumières

40 IPS

135 Mrays.s<sup>-1</sup>



# Visualisation interactive : résultats

Tour (356m)

3250 lumières

58 IPS

256 Mrays.s<sup>-1</sup>



# Évaluation paresseuse : Résultats

Calcul sur des scènes de tailles *normales*

Évolution typique d'une requête montre l'amortissement ...

