

Utilisation des BRDF dans un calcul de radiosité

Journées informatique et Géométrie, LIRIS - Lyon
1 et 2 juin 2006

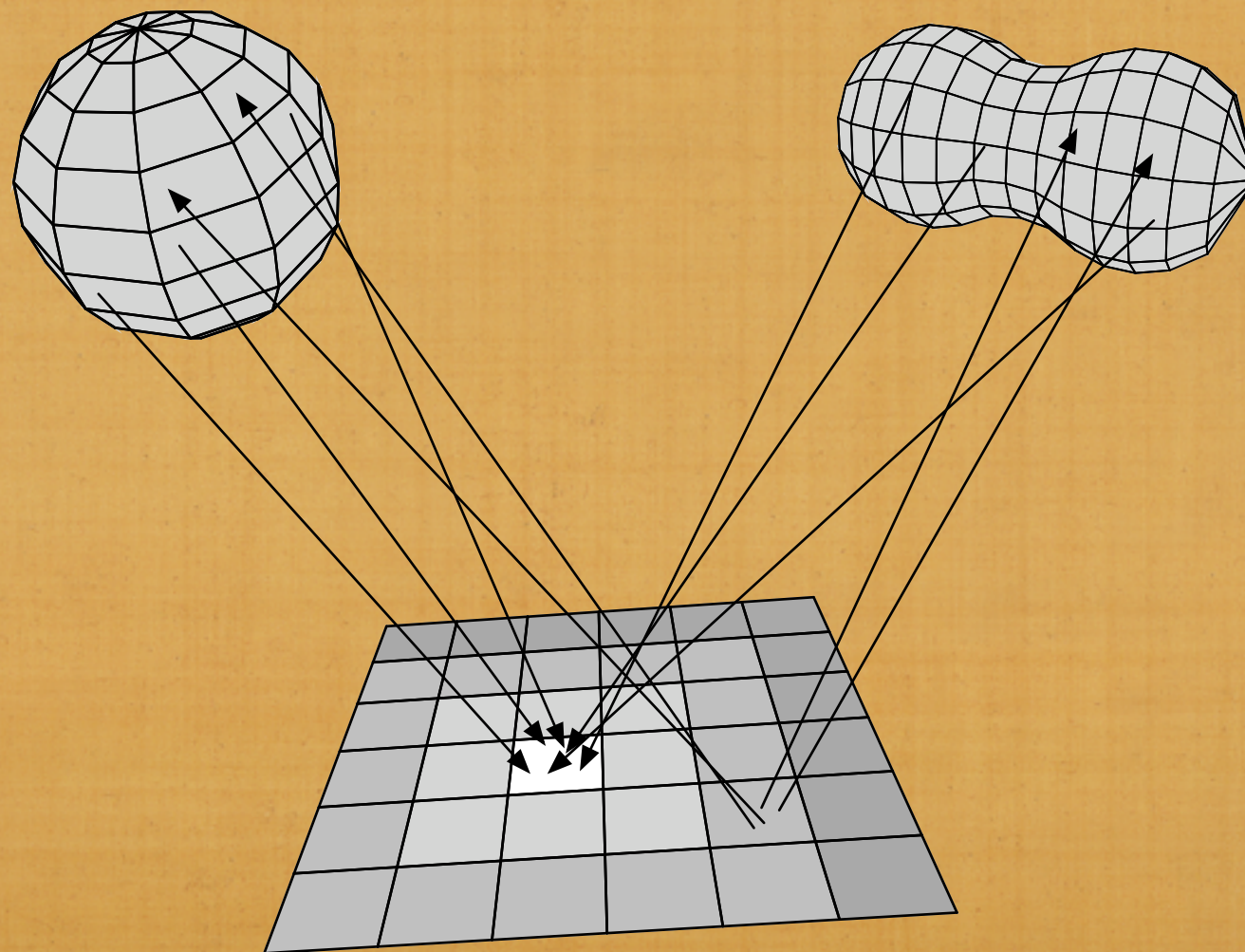
Pierre Chatelier

chatelier@laic.u-clermont1.fr



Rappel : Radiosité

- Illumination globale => calcul des interactions entre les éléments de la scène
- Un élément ré-émet une fraction de l'énergie reçue
- Résolution itérative

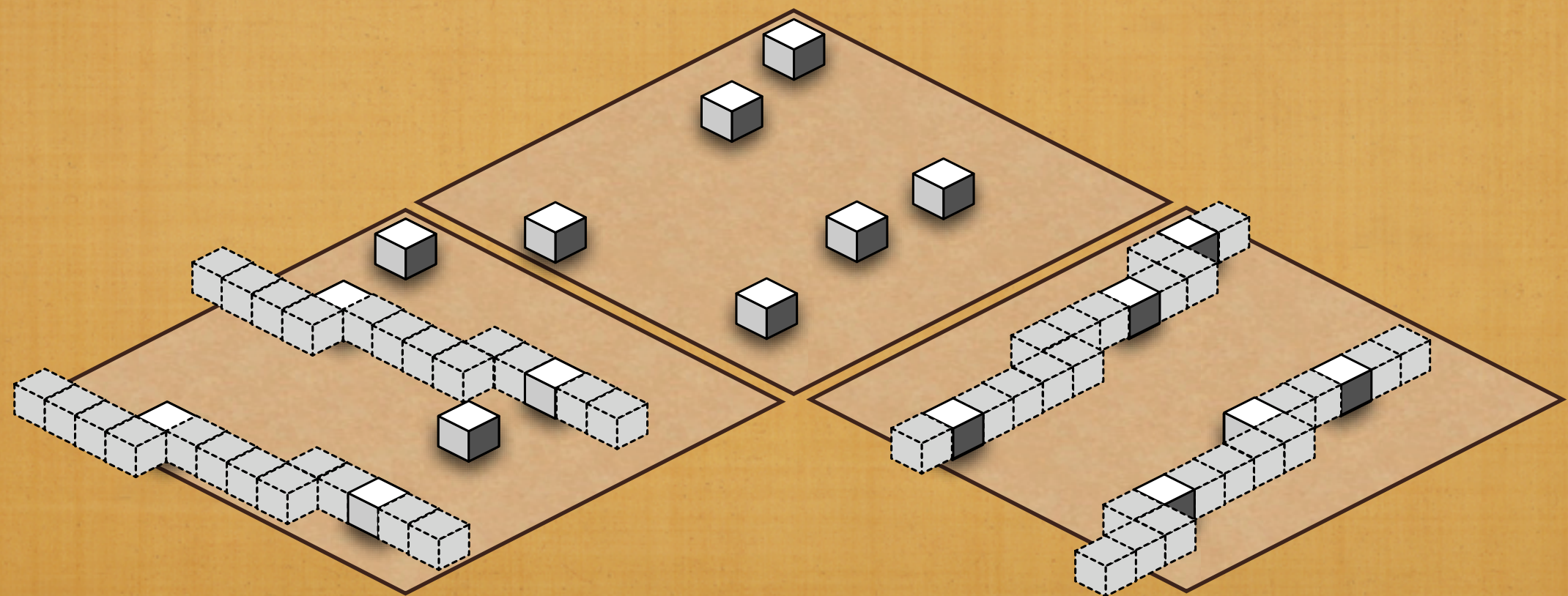


Rappel : Radiosité

- Éléments habituellement surfaciques
- Nous utilisons une méthode volumique
- Cette méthode apporte une efficacité accrue pour le calcul de visibilité (droites discrètes)
- Est-ce toujours adapté pour d'autres calculs ?

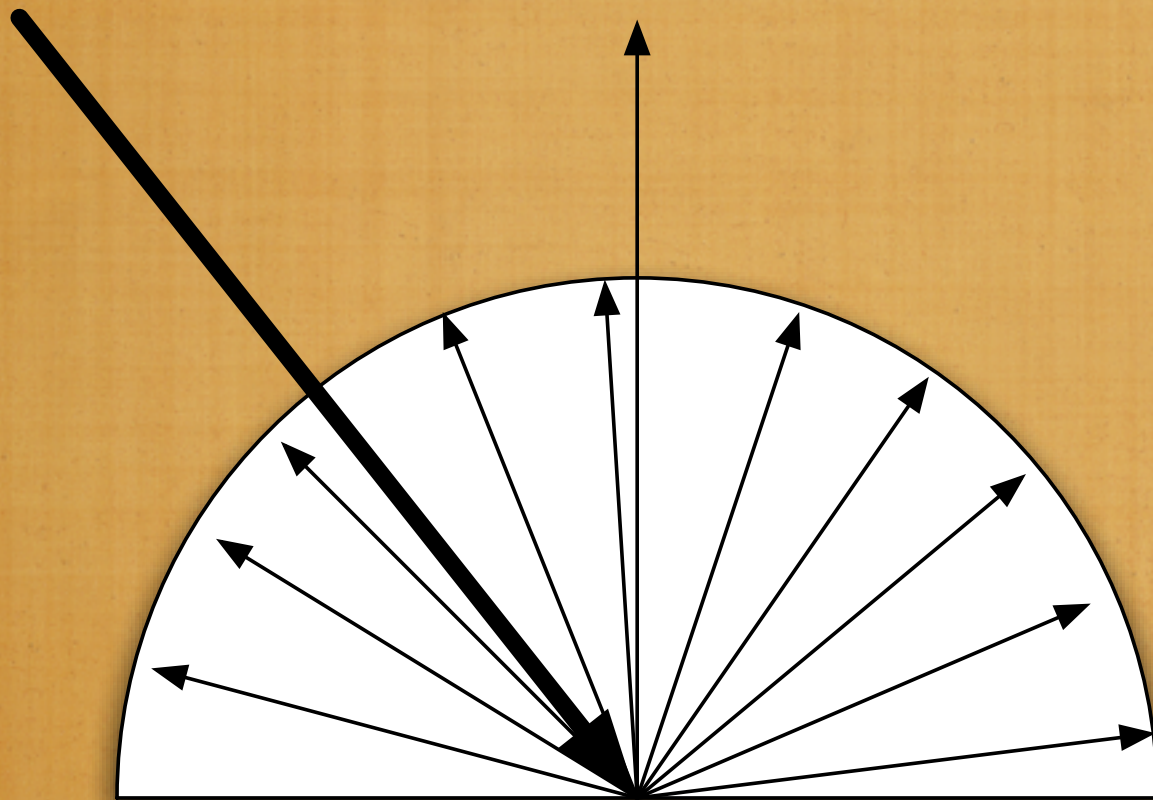
Rappel : Radiosité

- Éléments habituellement surfaciques
- Nous utilisons une méthode volumique
- Cette méthode apporte une efficacité accrue pour le calcul de visibilité (droites discrètes)
- Est-ce toujours adapté pour d'autres calculs ?

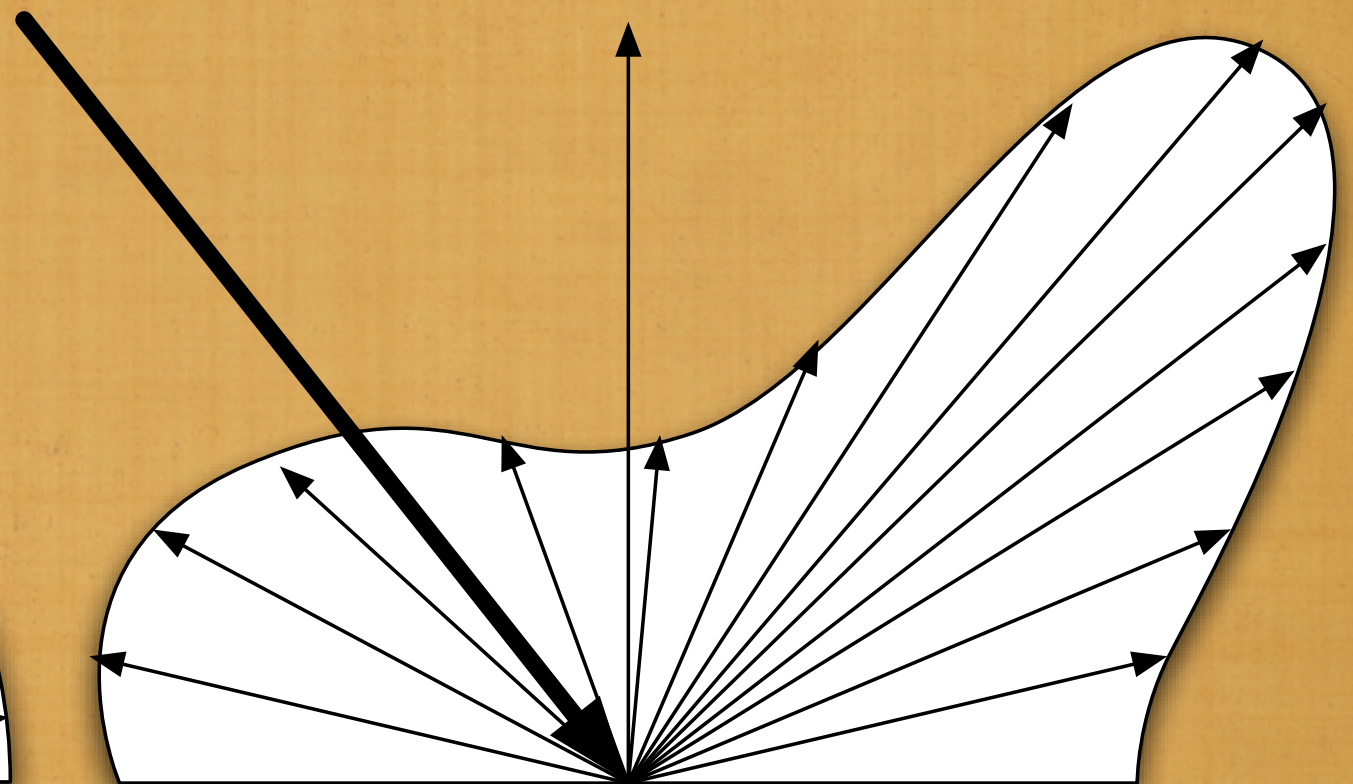


Ré-émission non isotrope (1)

- Radiosité classique : diffusion idéale.
- Un simple facteur décrit la quantité ré-émise
- Dans le cas non isotrope, l'information est plus riche



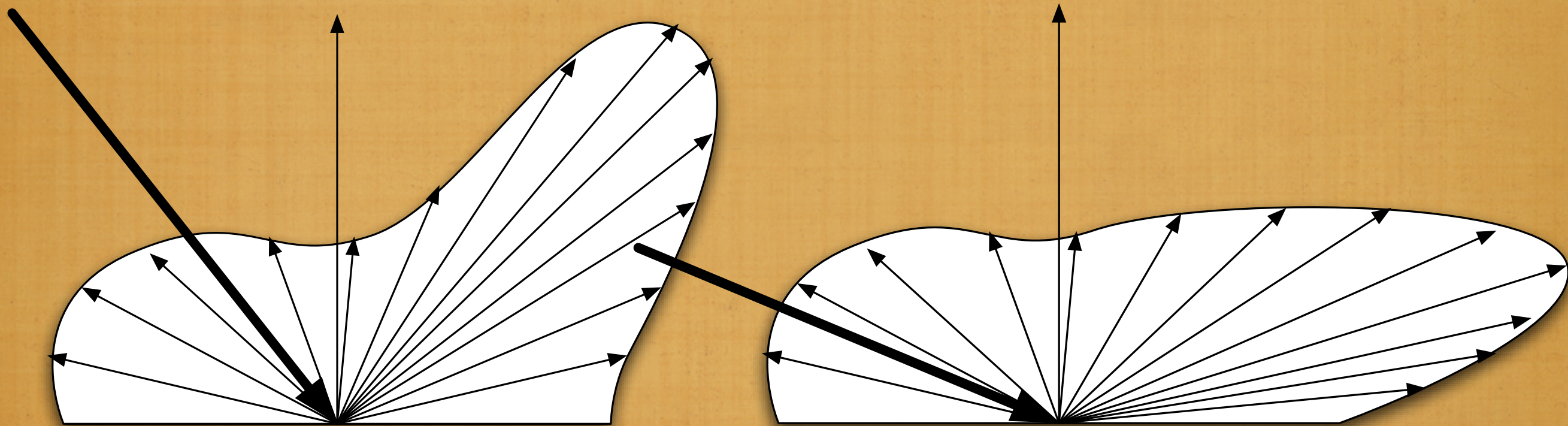
cas diffus idéal



comportement complexe

Ré-émission non isotrope (2)

- Une fonction décrit la ré-émission
- La forme dépend de l'incidence



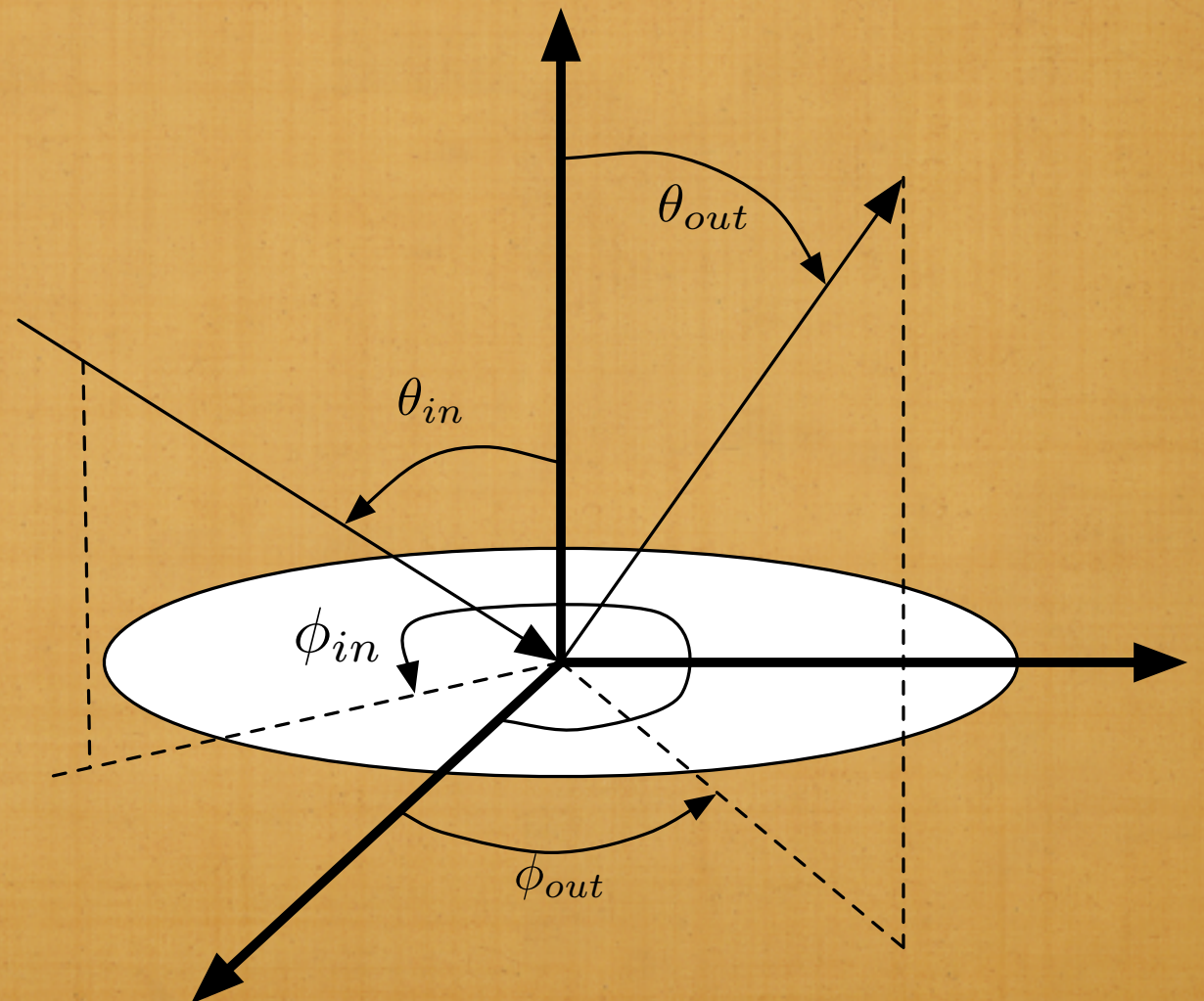
Utilisation des BRDF dans un calcul de radiosité

1. BRDF : définition, représentation, utilisation
2. Représentation usuelle par harmoniques sphériques
3. Présentation d'une méthode axée sur l'efficacité
4. Conclusion/Perspectives

Représentation des BRDF (1)

- Modélisation du comportement par BRDF
Bidirection Reflectance Distribution Function
- modalités d'acquisition pour des matériaux réels (surface, ou macro-objet)
- Modélisation pour utilisation efficace

fonction $f(\theta_{in}, \phi_{in}, \theta_{out}, \phi_{out})$



Représentation des BRDF (2)

- Modélisation fonction 4D ? Utilisation de fonctions 2D, interpolées

$$f(\theta_{in}, \phi_{in}, \theta_{out}, \phi_{out}) = g_{\theta_{in}, \phi_{in}}(\theta_{out}, \phi_{out})$$

- Calcul de $g_{\theta_0, \phi_0}, g_{\theta_1, \phi_1}, \dots, g_{\theta_n, \phi_n}$ puis interpolation entre g_{θ_i, ϕ_i} et g_{θ_j, ϕ_j}

- 1 fonction 2D = 1 fonction sphérique
= 1 décomposition/1 jeu de coefficients

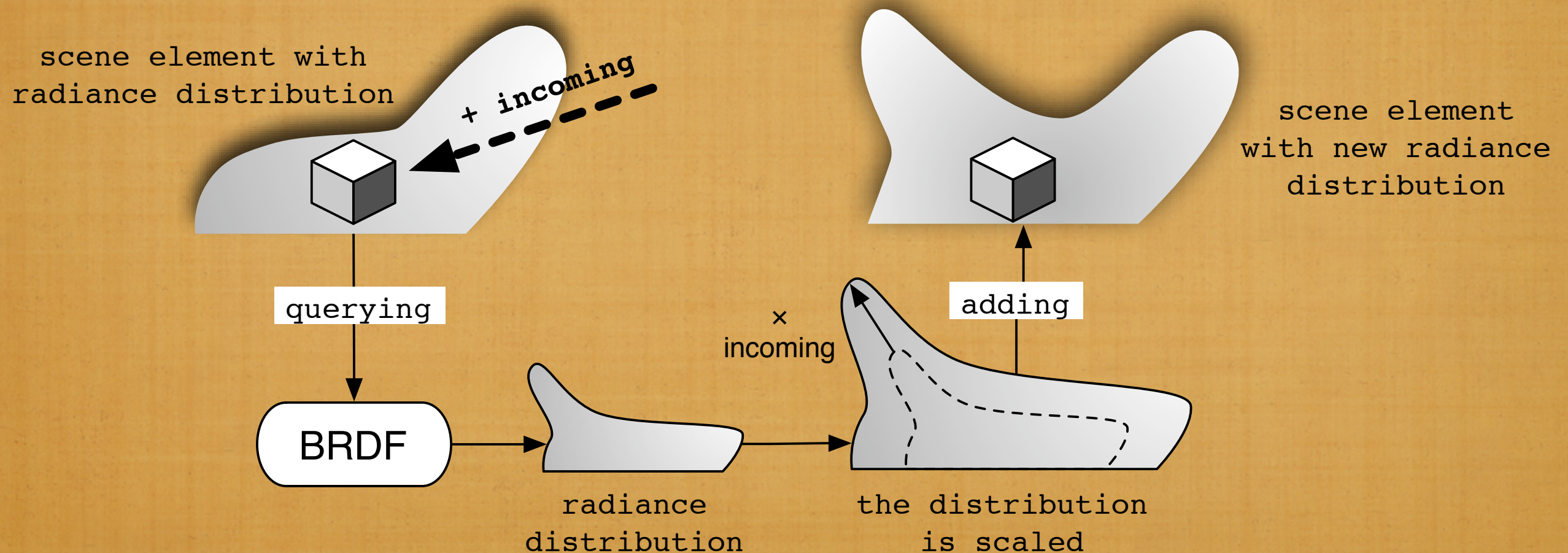
$$g_{\theta_{in}, \phi_{in}}(\theta_{out}, \phi_{out}) = \sum_i c_{i, \theta_{in}, \phi_{in}} h(\theta_{out}, \phi_{out})$$

- Interpolation des coefficients
- Souvent symétrie en phi (exemple, miroir; contre-exemple : moquette). Si symétrie, interpolation simple ou lieu de double

$$g_{\theta_i, \phi_i} \equiv g_{\theta_i}$$

Utilisation des BRDF (1)

- La BRDF n'est que la description des comportements
- La ré-émission d'un élément est dynamique et ré-évaluée lors d'un algorithme itératif
- On utilise des "réalisations" de BRDF : distributions de radiance
- Représentation des réalisations unifiée avec le modèle



Utilisation des BRDF (2)

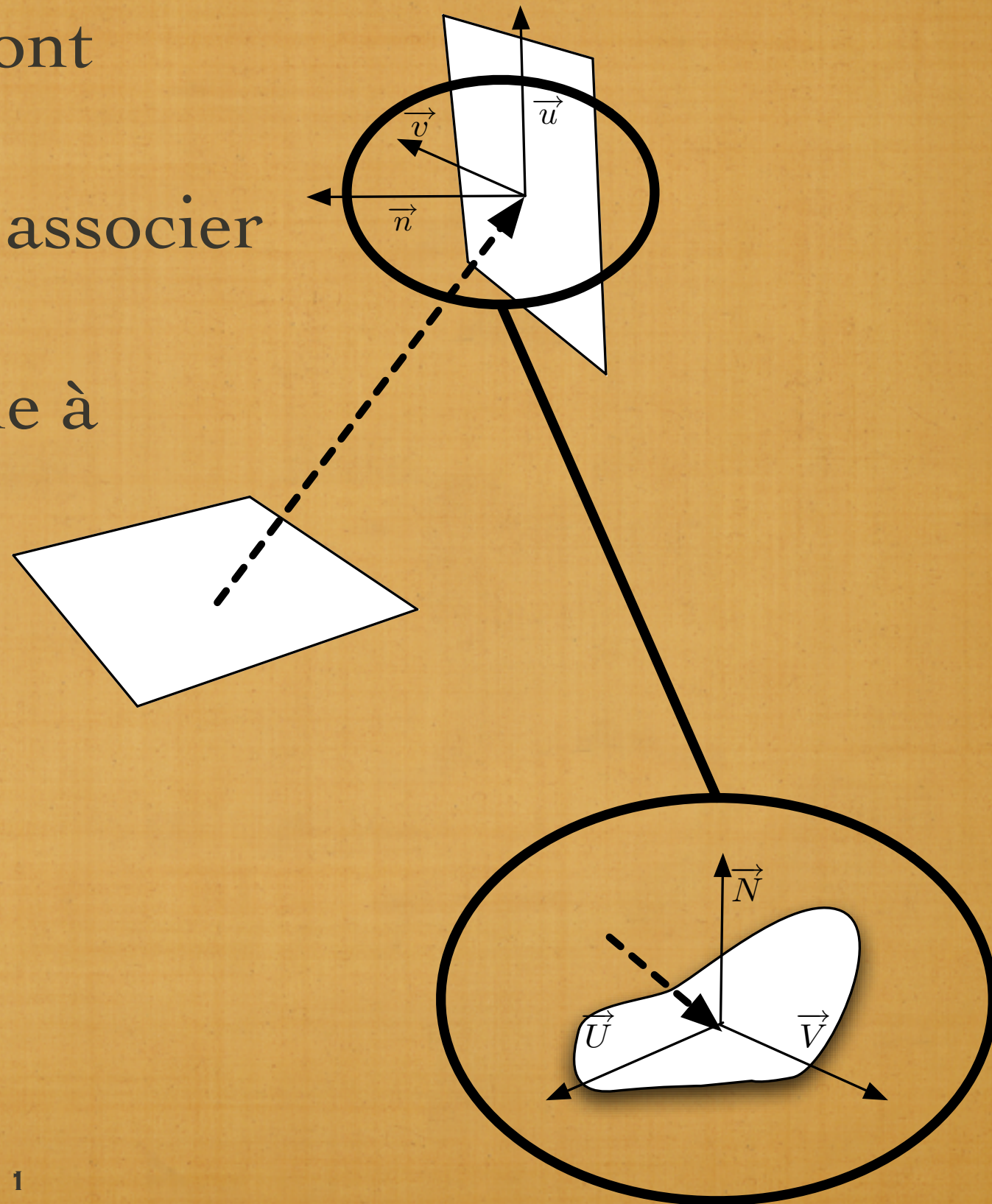
- Il faut pouvoir associer ces réalisations au fur et à mesure des propagations d'énergie



- Addition des distributions

Utilisation des BRDF (3)

- Les réalisations de BRDF sont créées dans un repère global
- Il faut une rotation pour les associer au repère de l'élément
- Généralement le plus difficile à rendre efficace



Harmoniques sphériques (1)

- Un classique : Harmoniques sphériques

$$f(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l C_{l,m} Y_{l,m}(\theta, \phi)$$

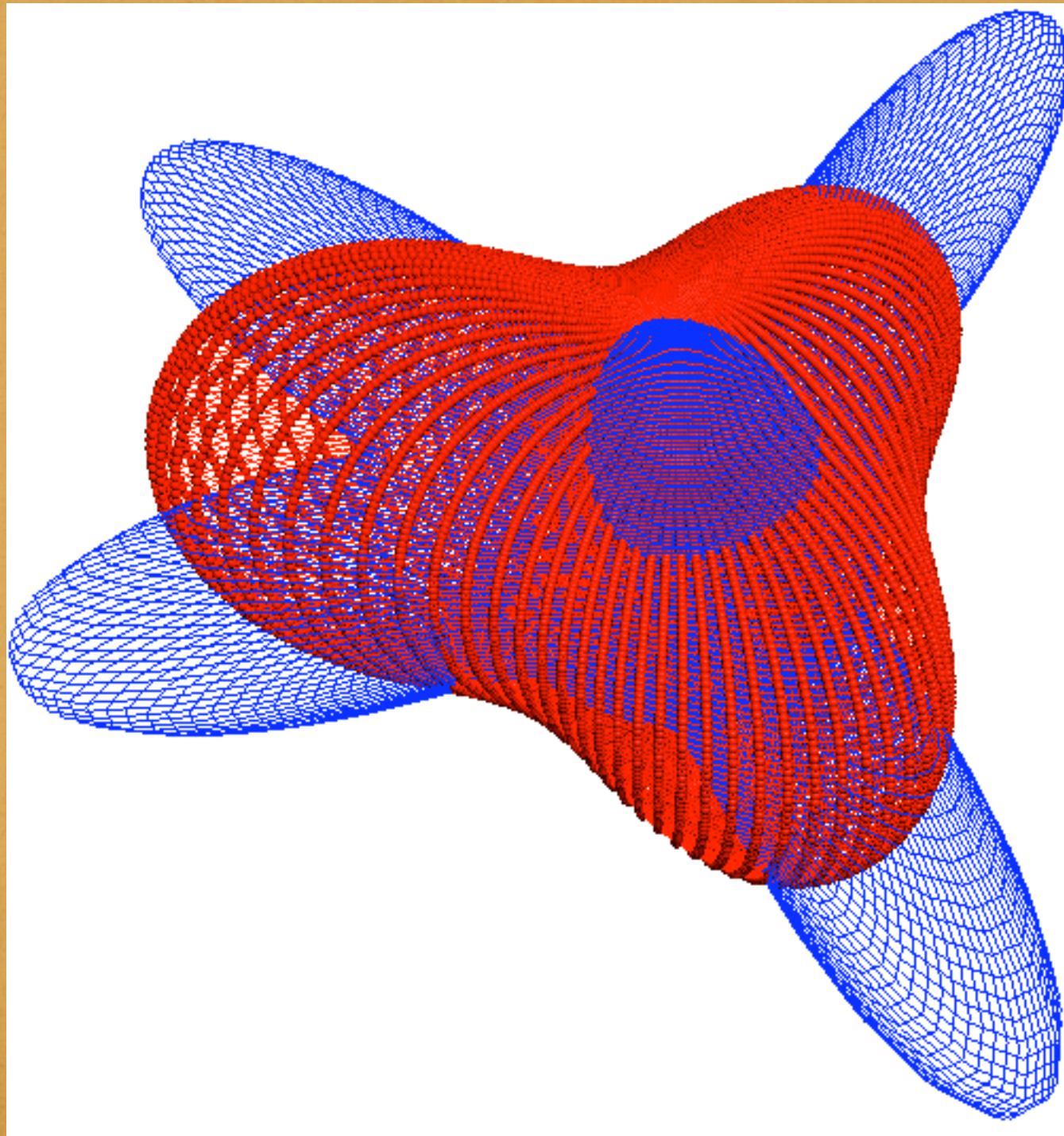
$$Y_{l,m}(\theta, \phi) = \begin{cases} N_{l,m} P_{l,m}(\cos \theta) \cos(m\phi) & \text{si } m > 0 \\ N_{1,0} P_{1,0}(\cos \theta) \sqrt{2} & \text{si } m = 0 \\ N_{l,m} P_{l,-m}(\cos \theta) \sin(-m\phi) & \text{si } m < 0 \end{cases}$$

$$N_{l,m} = \sqrt{\frac{2l+1}{2\pi} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}}$$

$$P_{l,m}(x) = \begin{cases} (1-2m)\sqrt{1-x^2} P_{m-1,m-1}(x) & \text{si } l = m \\ x(2m+1) P_{m,m} & \text{si } l = m+1 \\ x \frac{2l-1}{l-m} P_{l-1,m}(x) - \frac{l+m-1}{l-m} P_{l-2,m}(x) & \text{sinon} \end{cases}$$

Harmoniques sphériques (2)

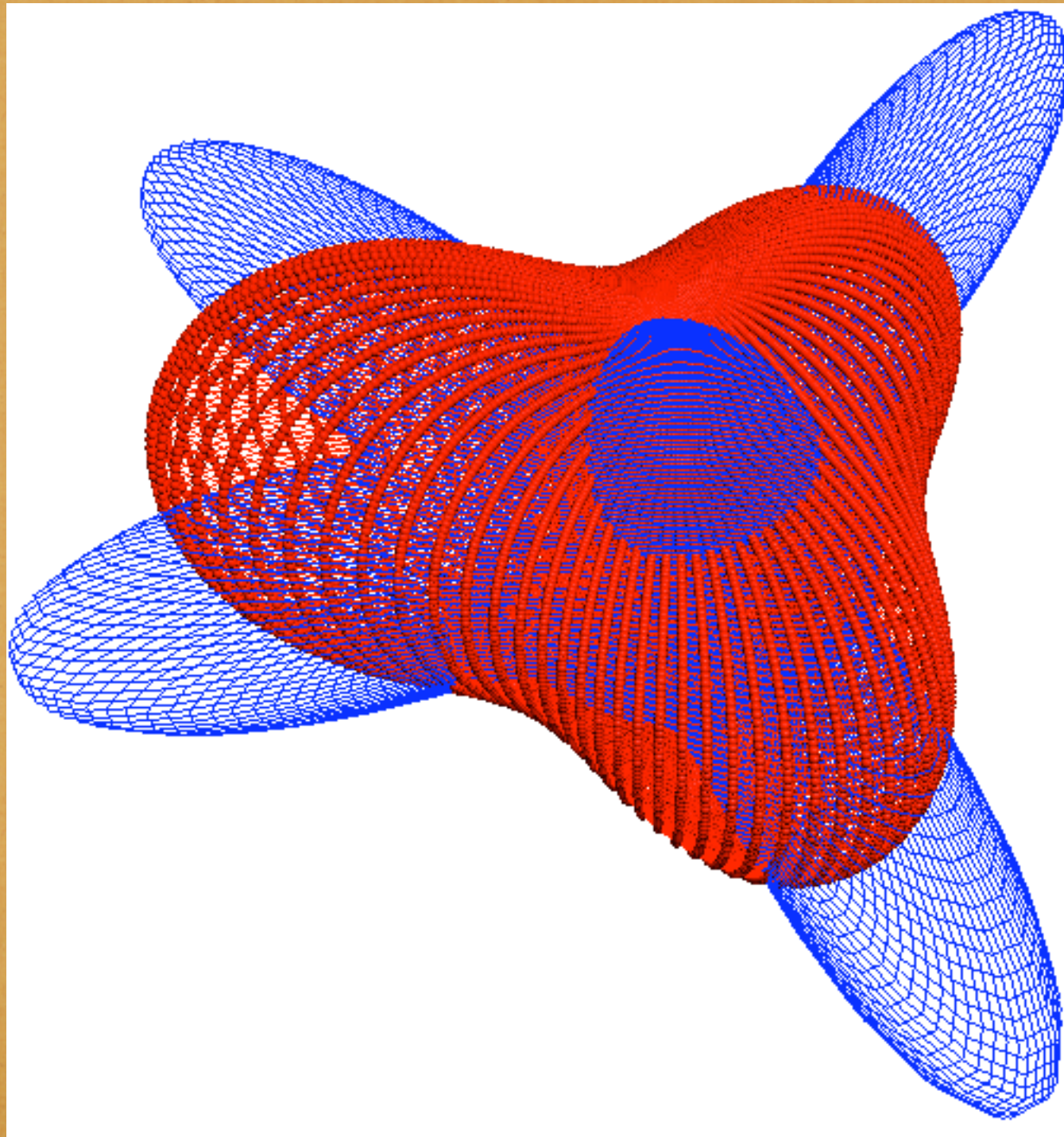
SH, $\text{maxl} = 3$, 16 coefficients réels



Harmoniques sphériques (2)

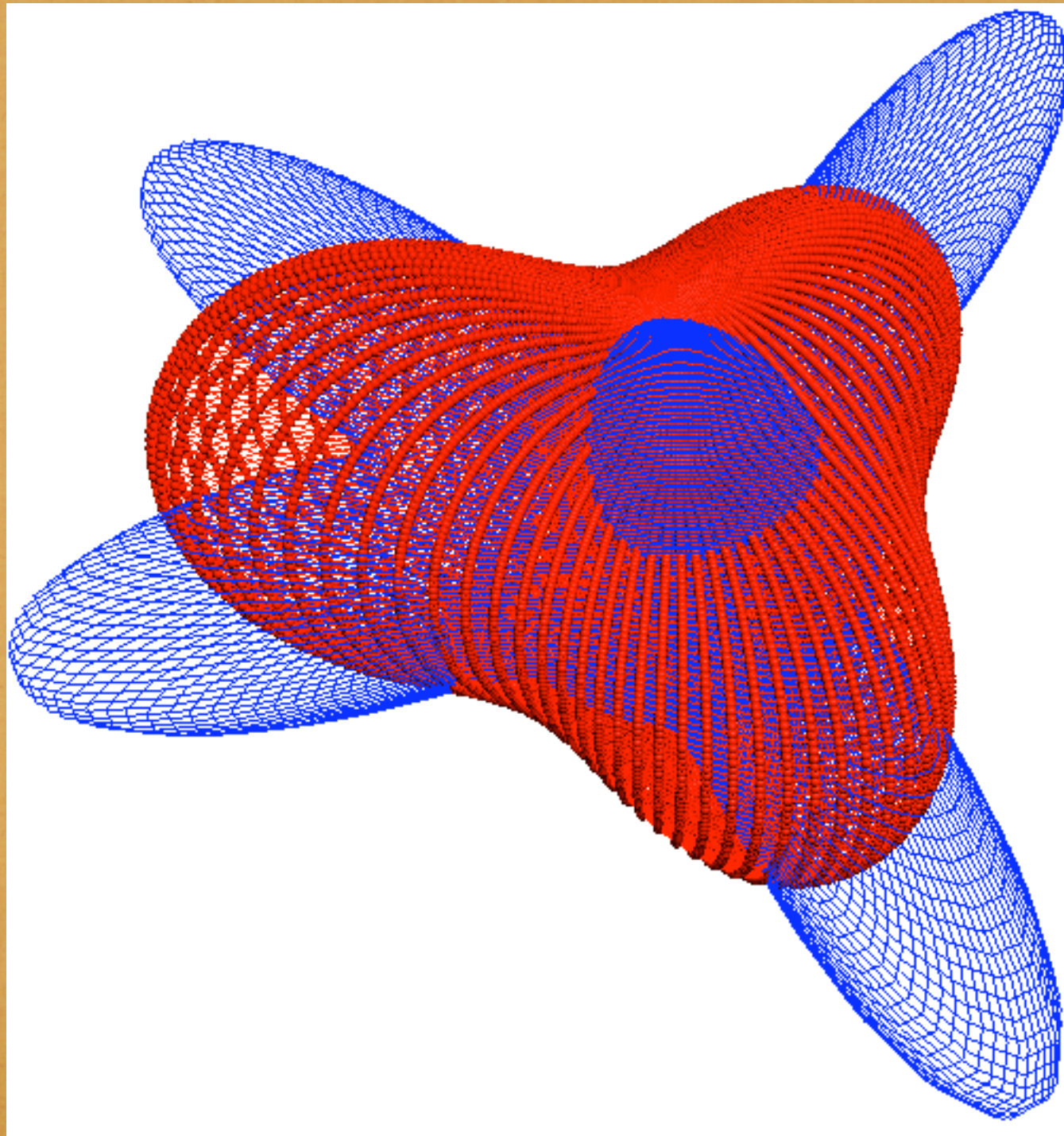
$$f(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l C_{l,m} Y_{l,m}(\theta, \phi)$$

SH, maxl = 3, 16 coefficients réels



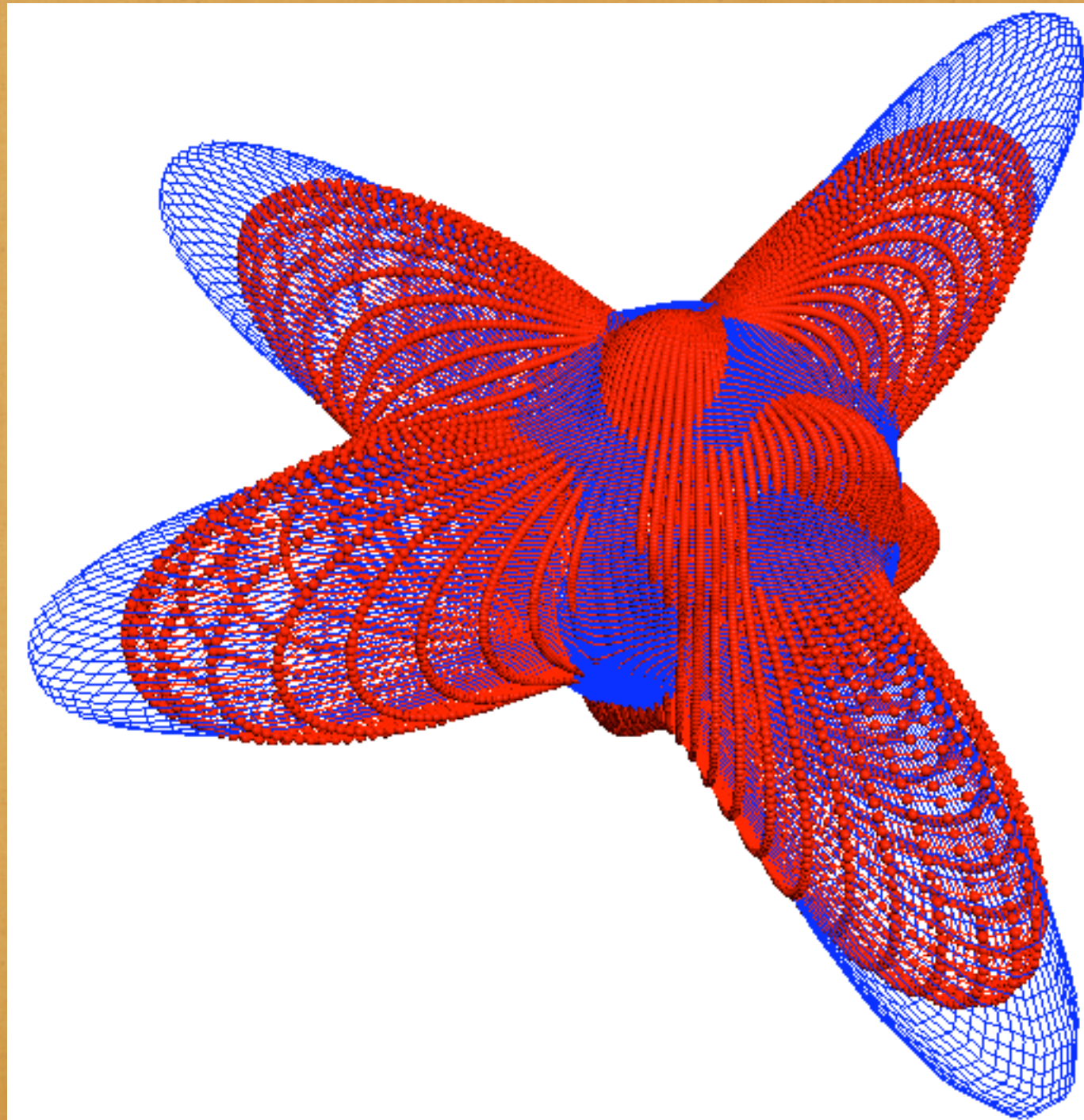
Harmoniques sphériques (2)

SH, $\text{maxl} = 3$, 16 coefficients réels



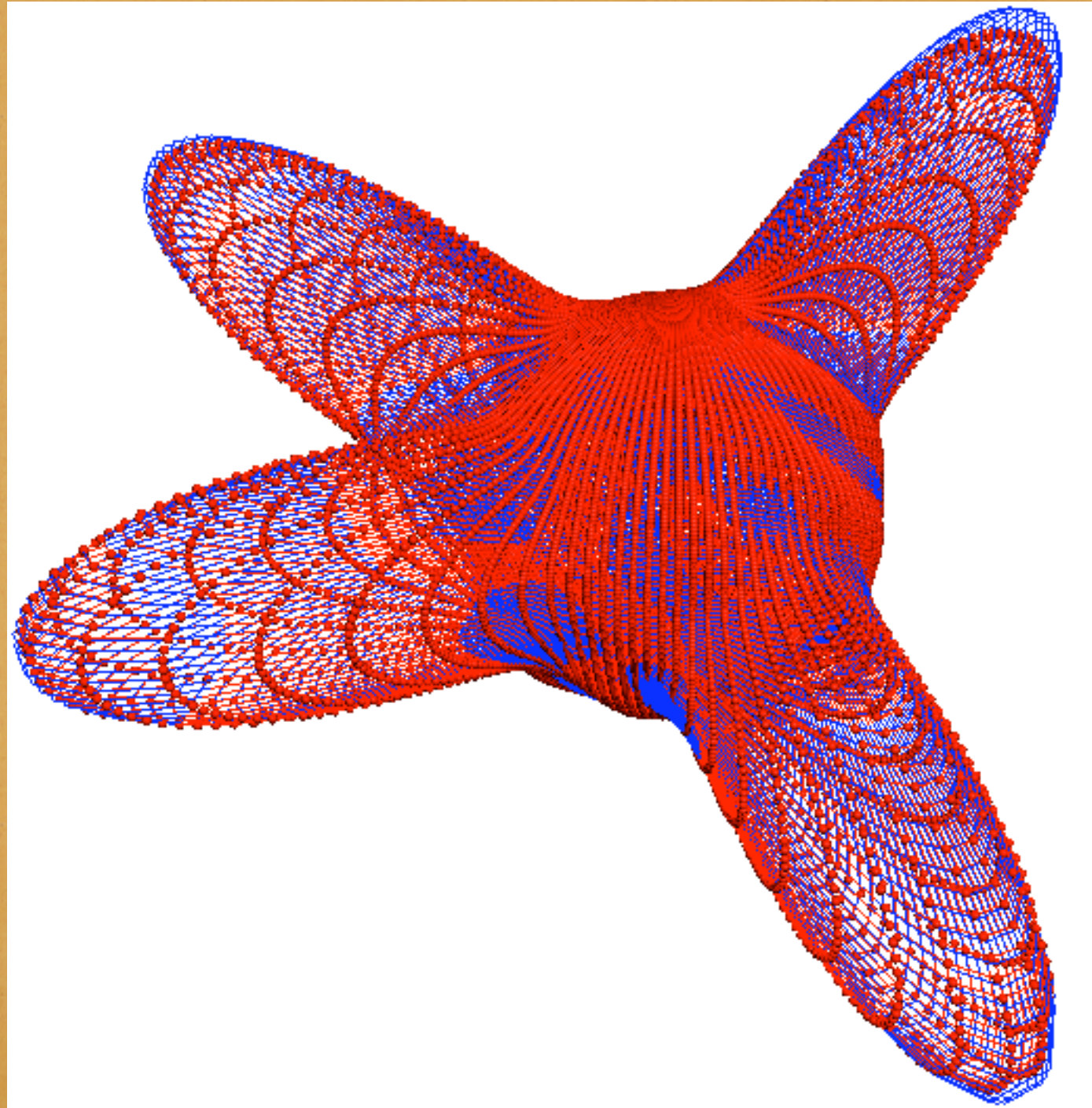
Harmoniques sphériques (3)

SH, maxl = 7, 64 coefficients réels



Harmoniques sphériques (4)

SH, $maxl = 12$, 169 coefficients réels



Harmoniques sphériques (5)

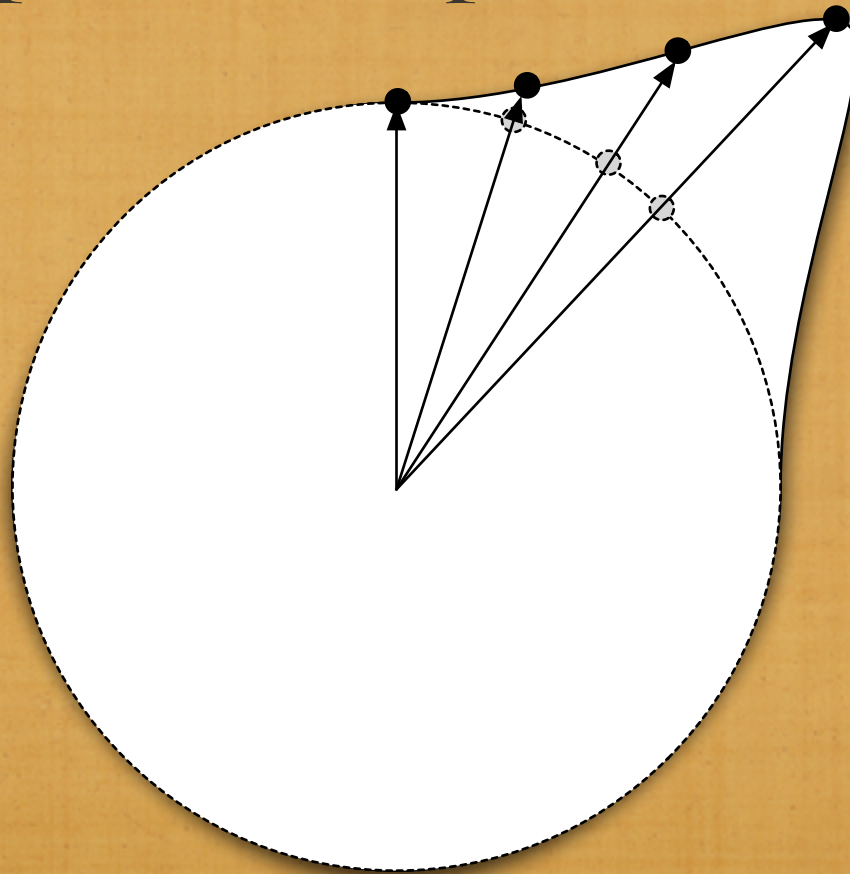
- multiplication, addition : simple
- goulet d'étranglement : rotation
- opération linéaire, mais nécessite des calculs matriciels difficiles à mettre en œuvre
- pré-calculs conseillés

Bilan

- BRDF : nécessite une représentation du modèle
- Une représentation des distributions, généralement unifiée avec le modèle
- Opérations requises : obtention rapide de valeur, multiplication par un scalaire, addition, rotation
- Représentation par décomposition/jeu de coefficients bien adaptée, mais rotation difficile avec les harmoniques sphériques
- Les BRDF sont rarement de haute fréquence. Pour des formes simples, une représentation simple est peut-être plus adaptée

Approche par points de contrôle

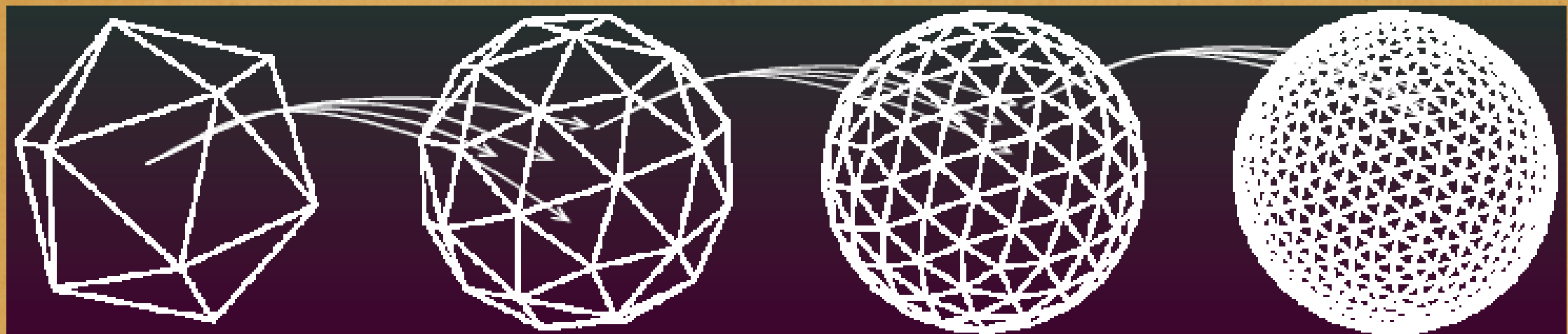
- Favoriser la performance dans le compromis précision/rapidité
- Essayer de faire à peu près aussi bien que les harmoniques sphériques
- Approche par points de contrôle, coefficient radial
- Représentation adaptée à une particularité de l'algorithme



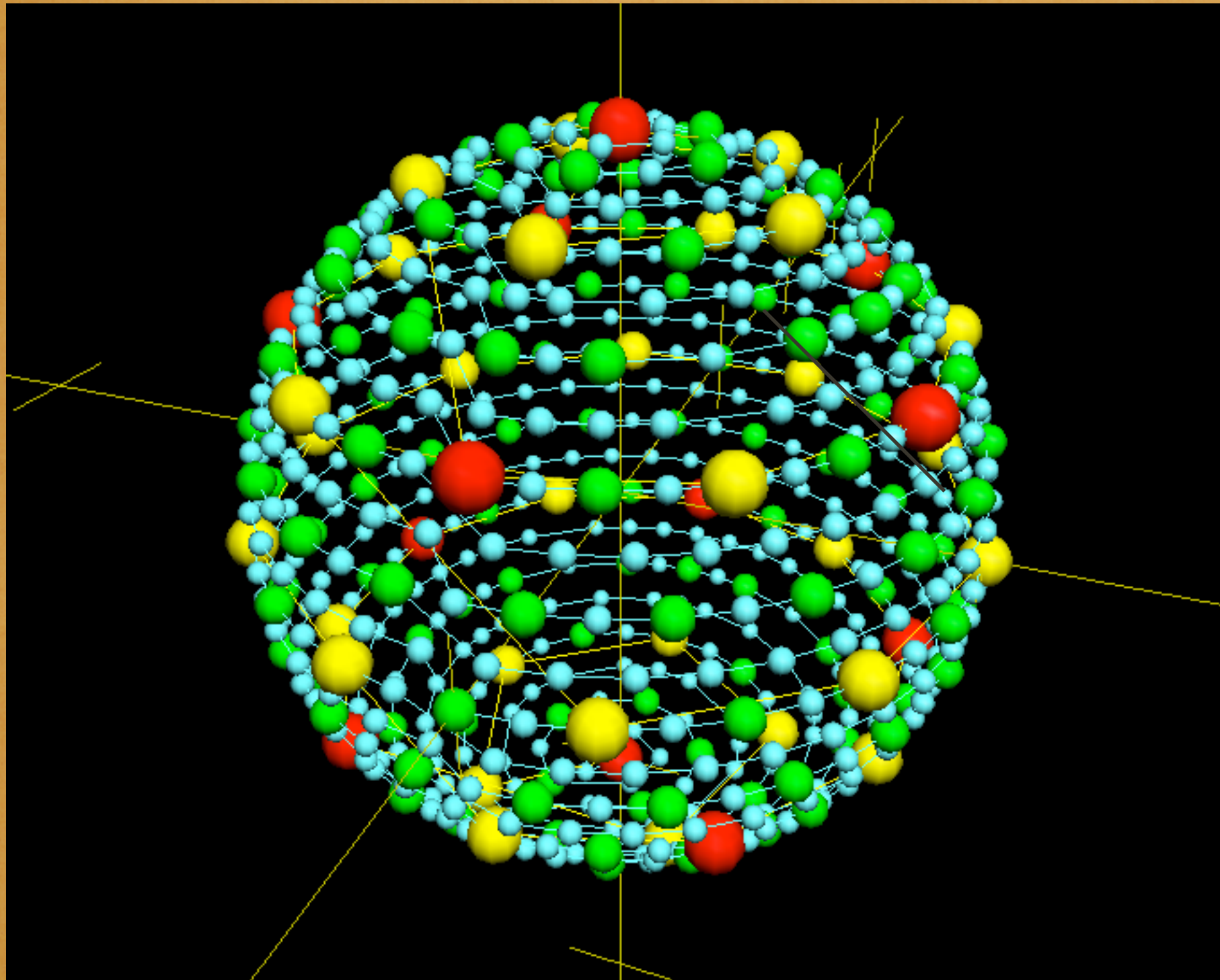
Contraintes et propositions

- Homogénéité de la représentation : points équitablement répartis sur la sphère
 - Subdivisions successives d'un polyèdre régulier
- Interpolation efficace
 - Utilisation des aires des triangles sphériques
- Rotation : pré-calcul
 - Permutation des points
 - Ré-attribution des poids par interpolation des points eux-mêmes
- Représentation d'une distribution donnée
 - Moindre carrés ou programmation linéaire

Homogénéité : Subdivisions d'un polyèdre régulier (1)



Homogénéité : Subdivisions d'un polyèdre régulier (2)

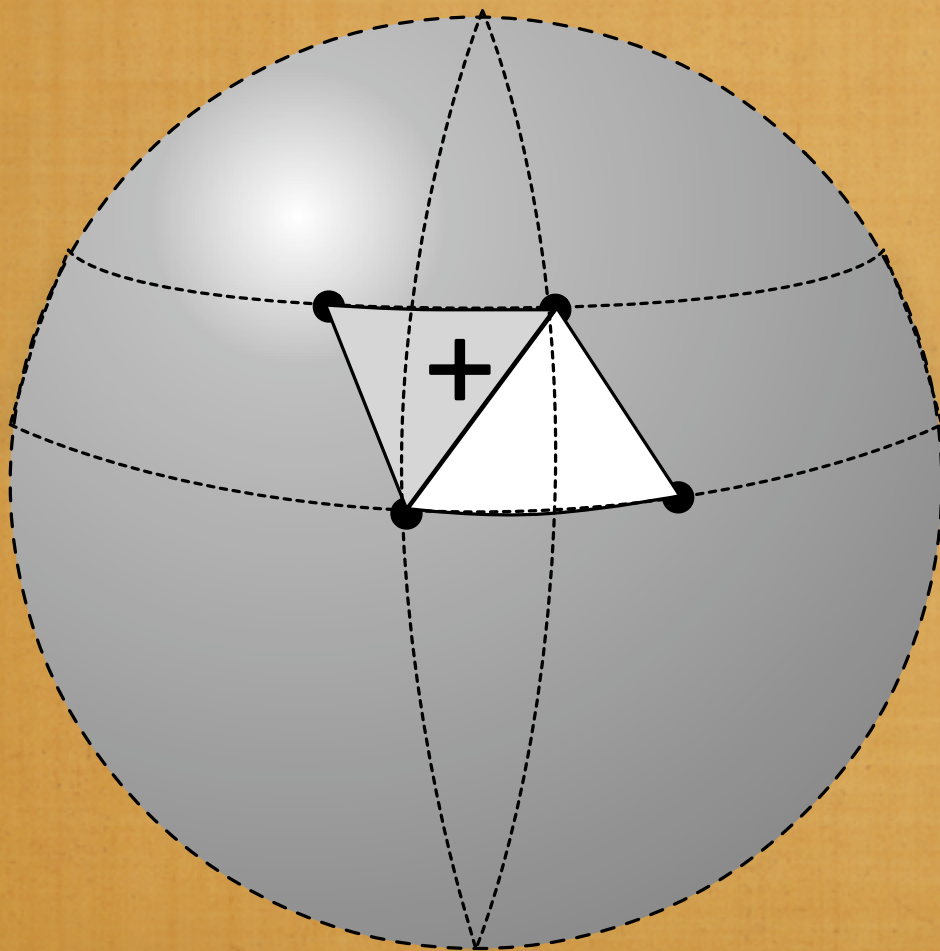


ICOSAÈDRE

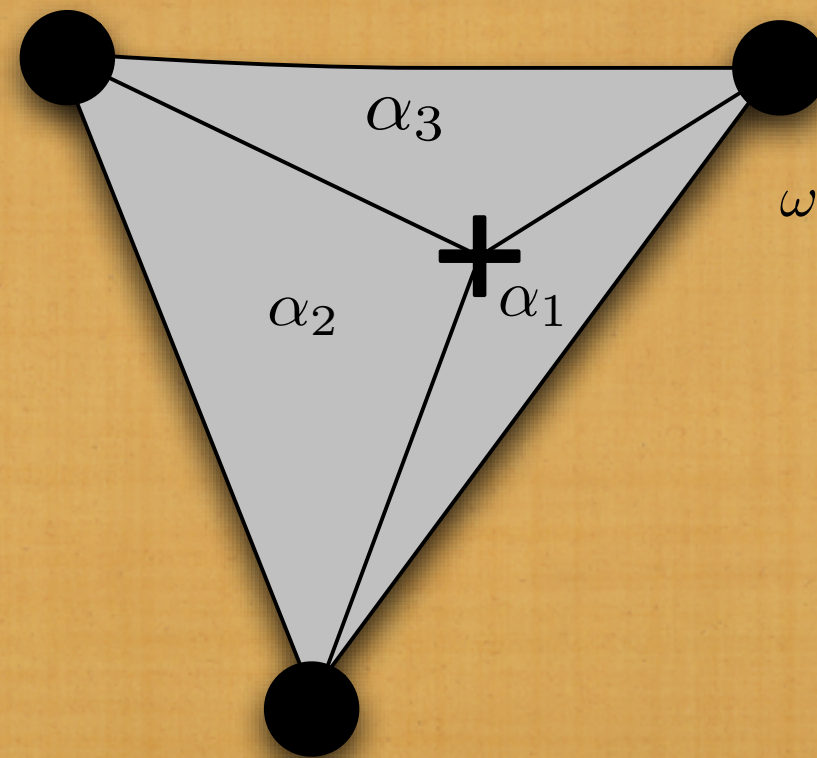
- ordre 0
- ordre 1
- ordre 2
- ordre 3

Interpolation : triangles sphériques

- Les points de contrôle sont classés par parallèle et méridien
- On trouve ainsi très rapidement des triangles candidats
- Calcul d'aires de triangles sphériques, donnant les poids de 3 points pour interpoler



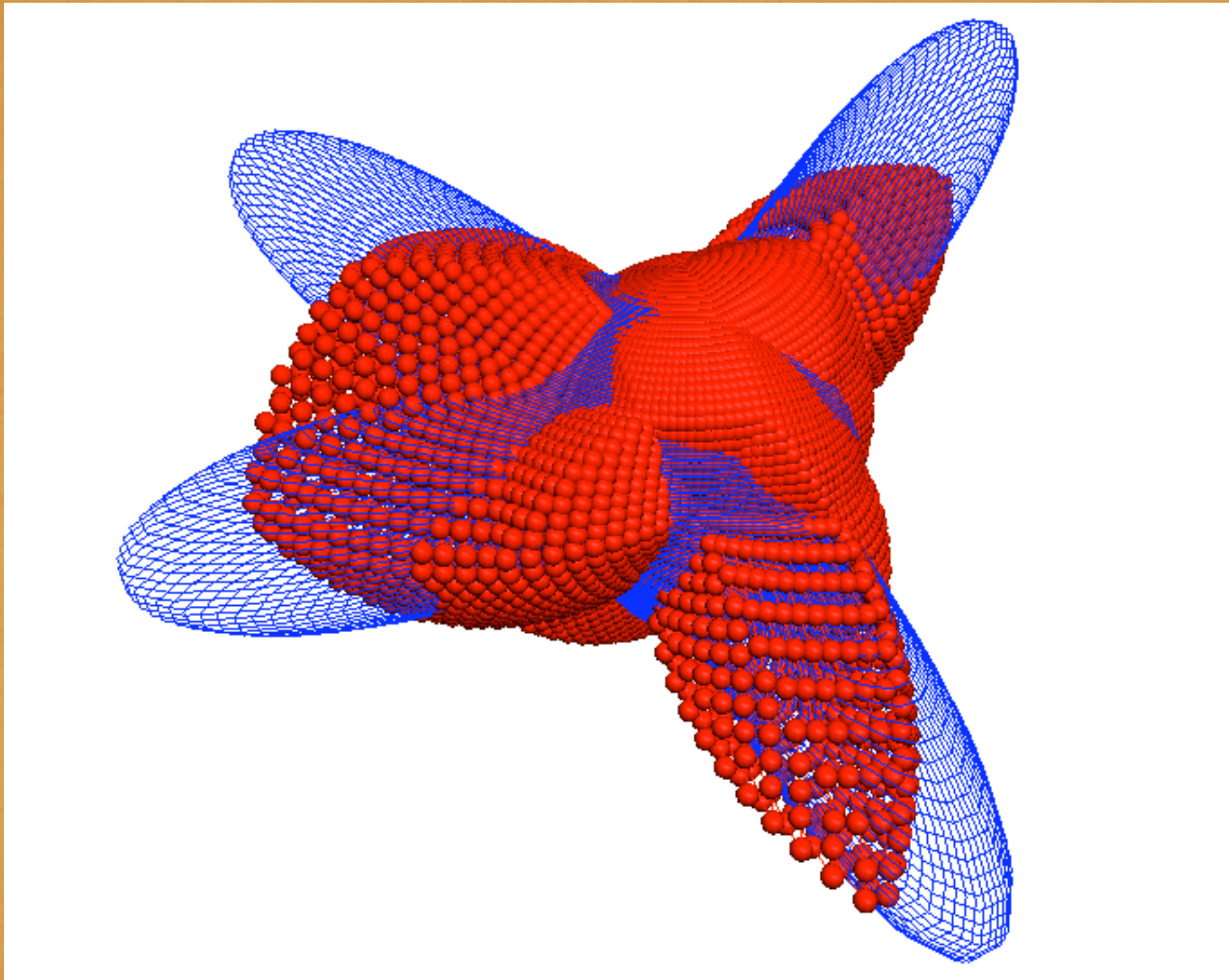
$$\omega_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}$$



$$\omega_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}$$

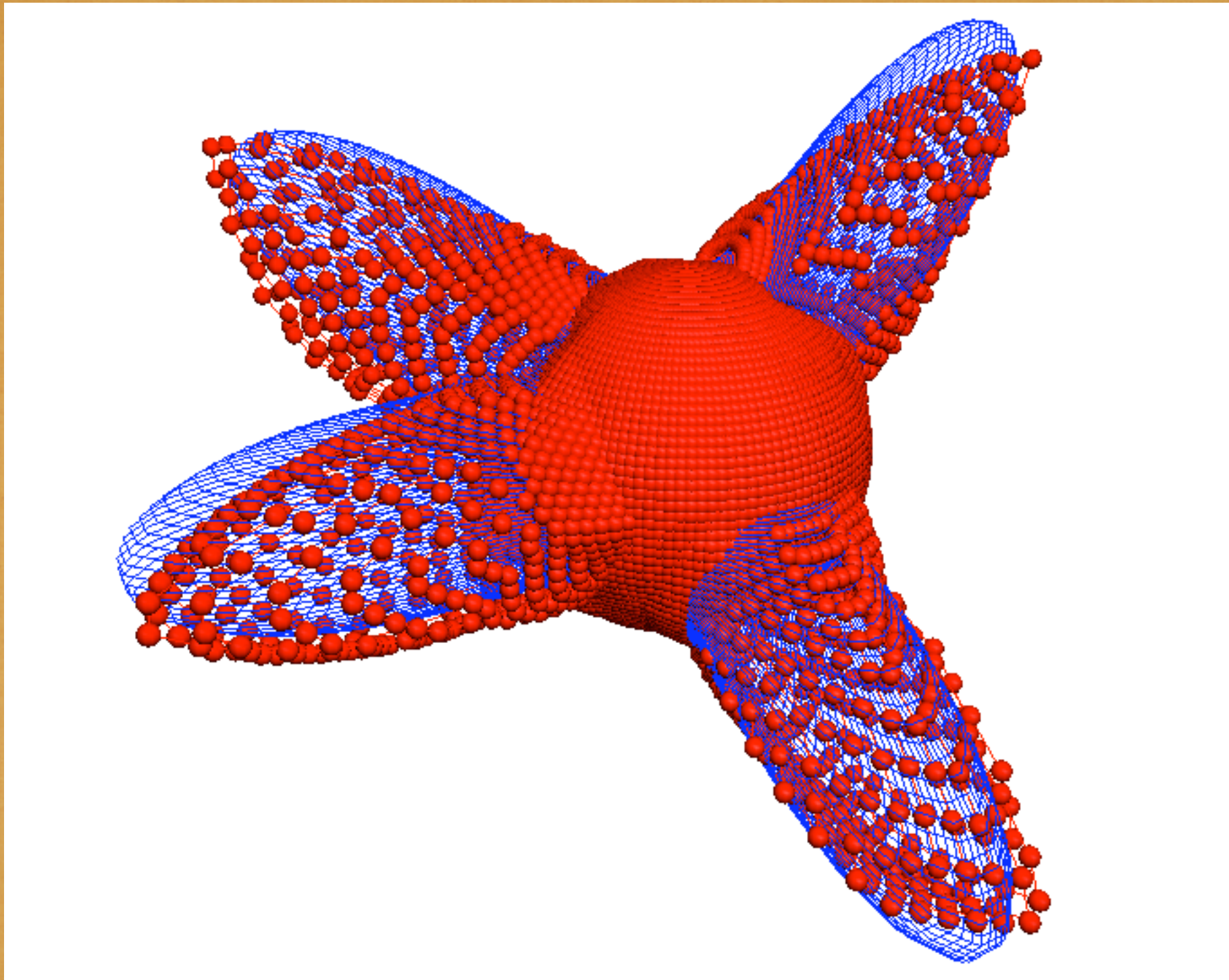
$$\omega_3 = \frac{\alpha_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}$$

Efficacité de la représentation (1)



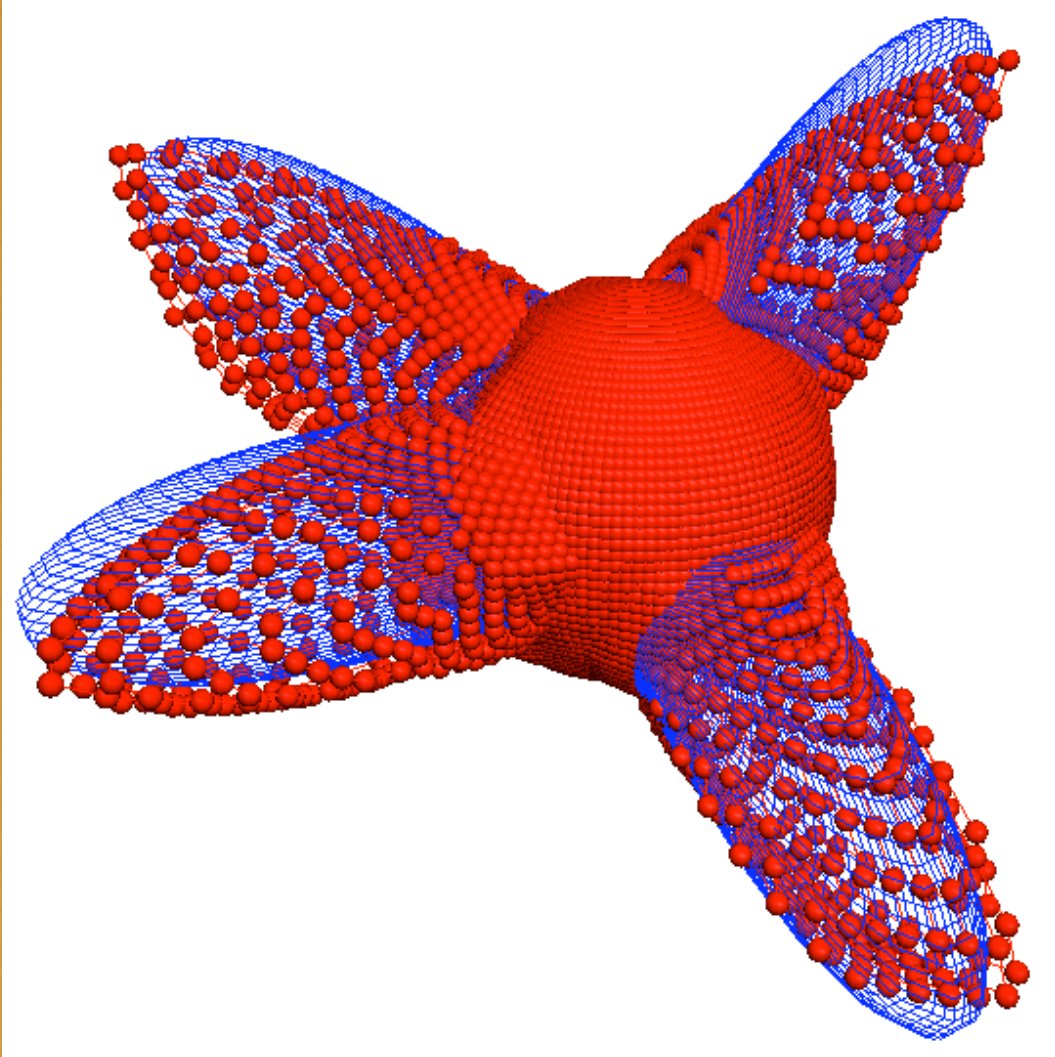
ordre 1, 42 coefficients

Efficacité de la représentation (2)

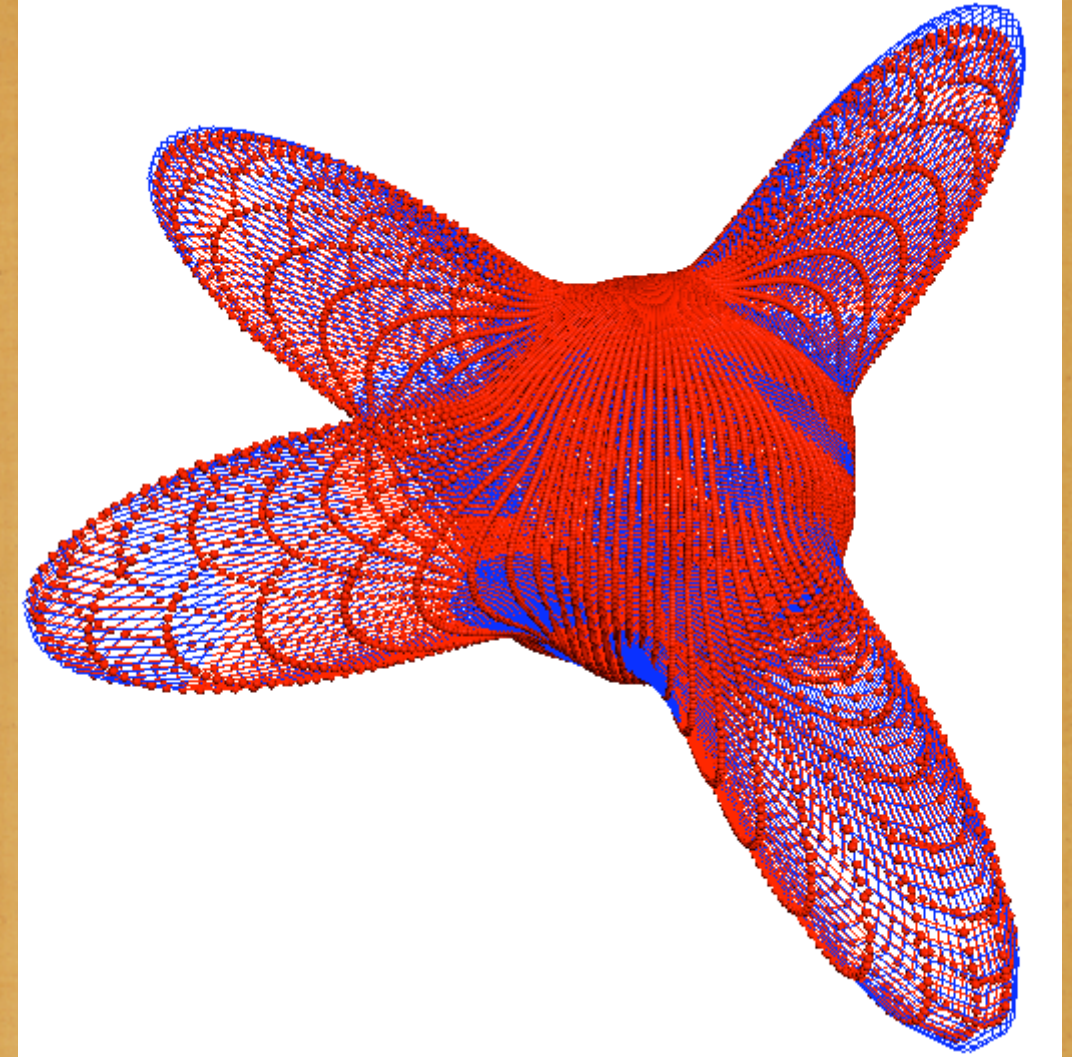


ordre 2, 162 coefficients

Efficacité de la représentation (3)

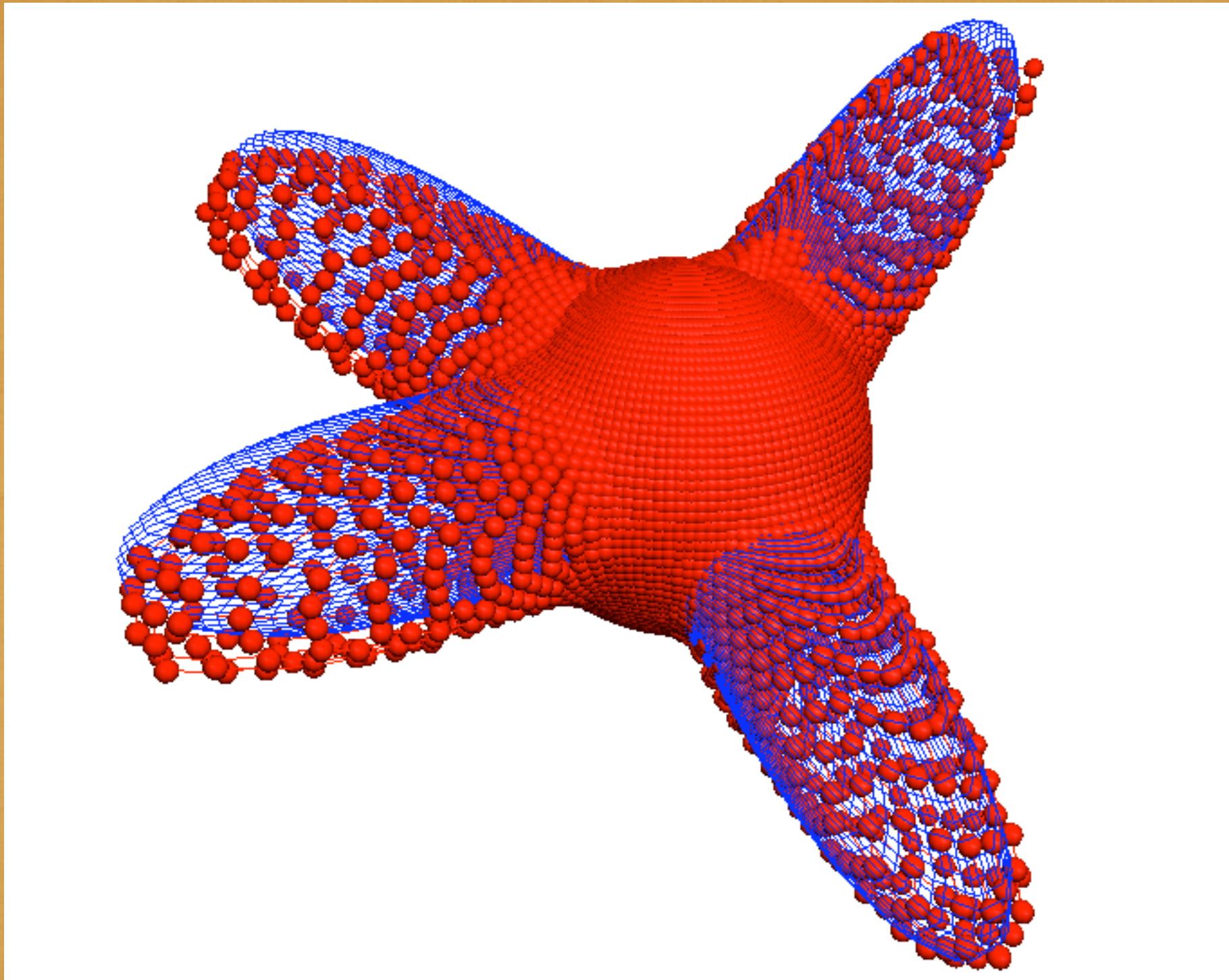


points de contrôle,
162 coefficients



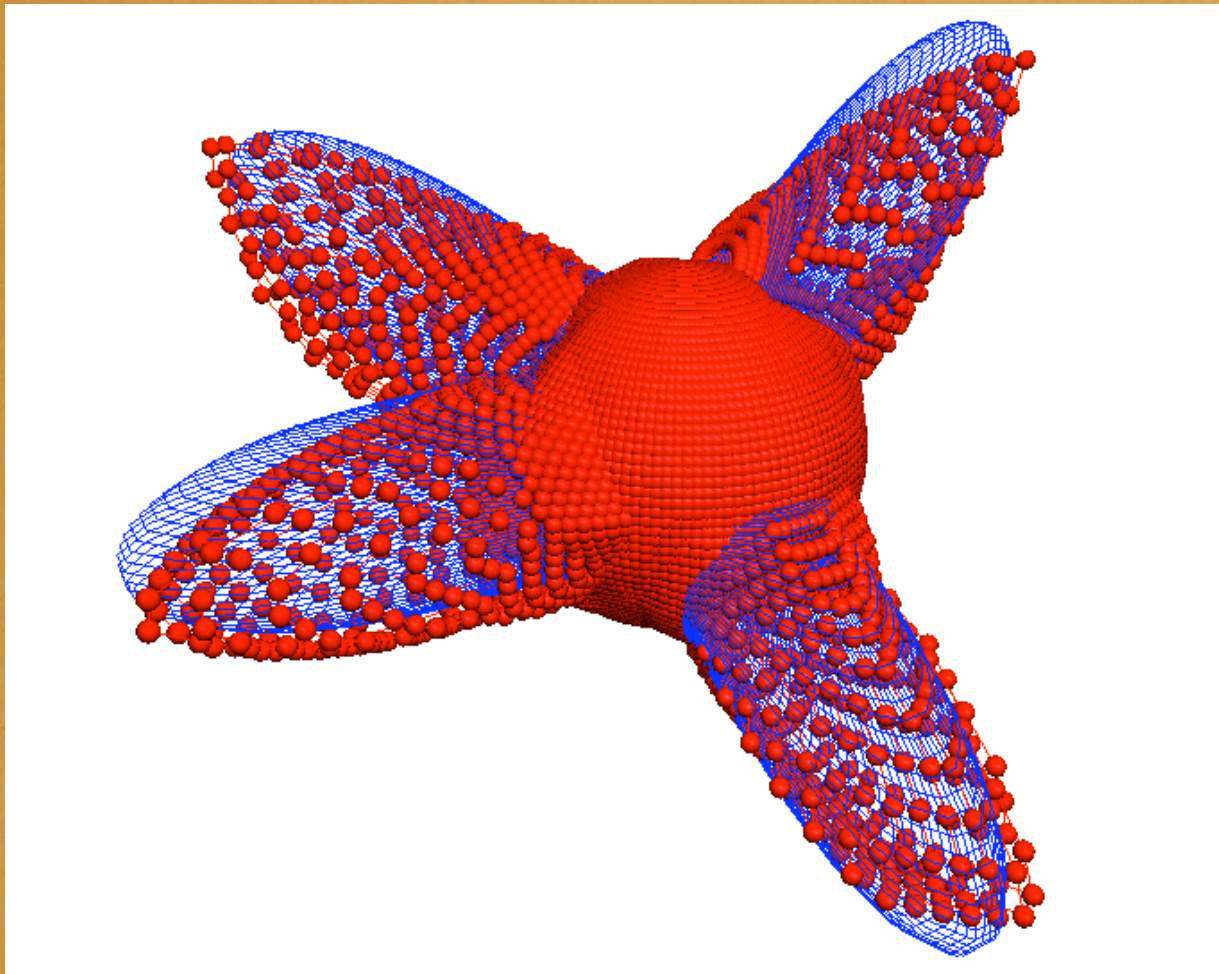
harmoniques sphériques
169 coefficients

Efficacité de la représentation (4)

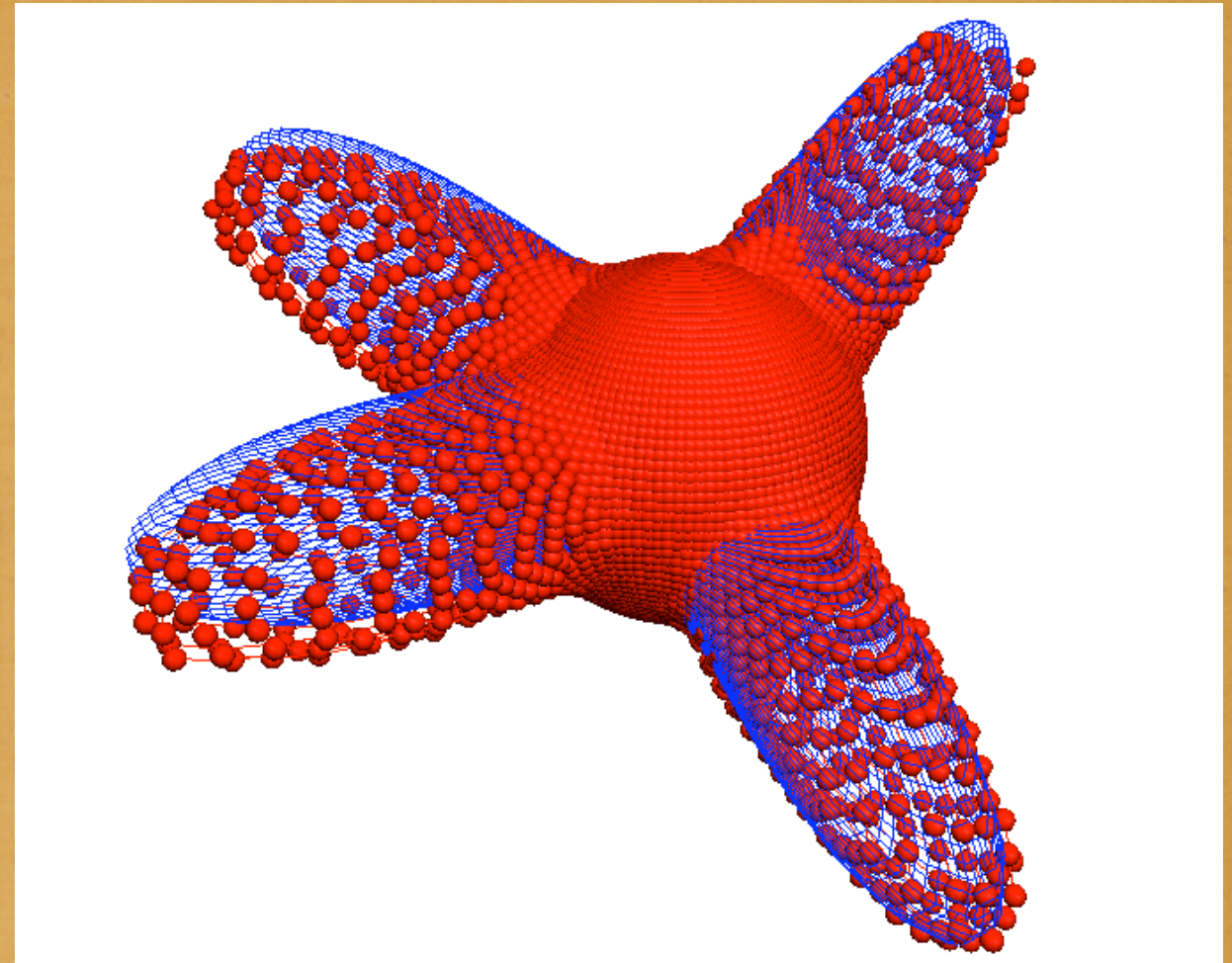


ordre 3, 642 coefficients

Efficacité de la représentation (5)



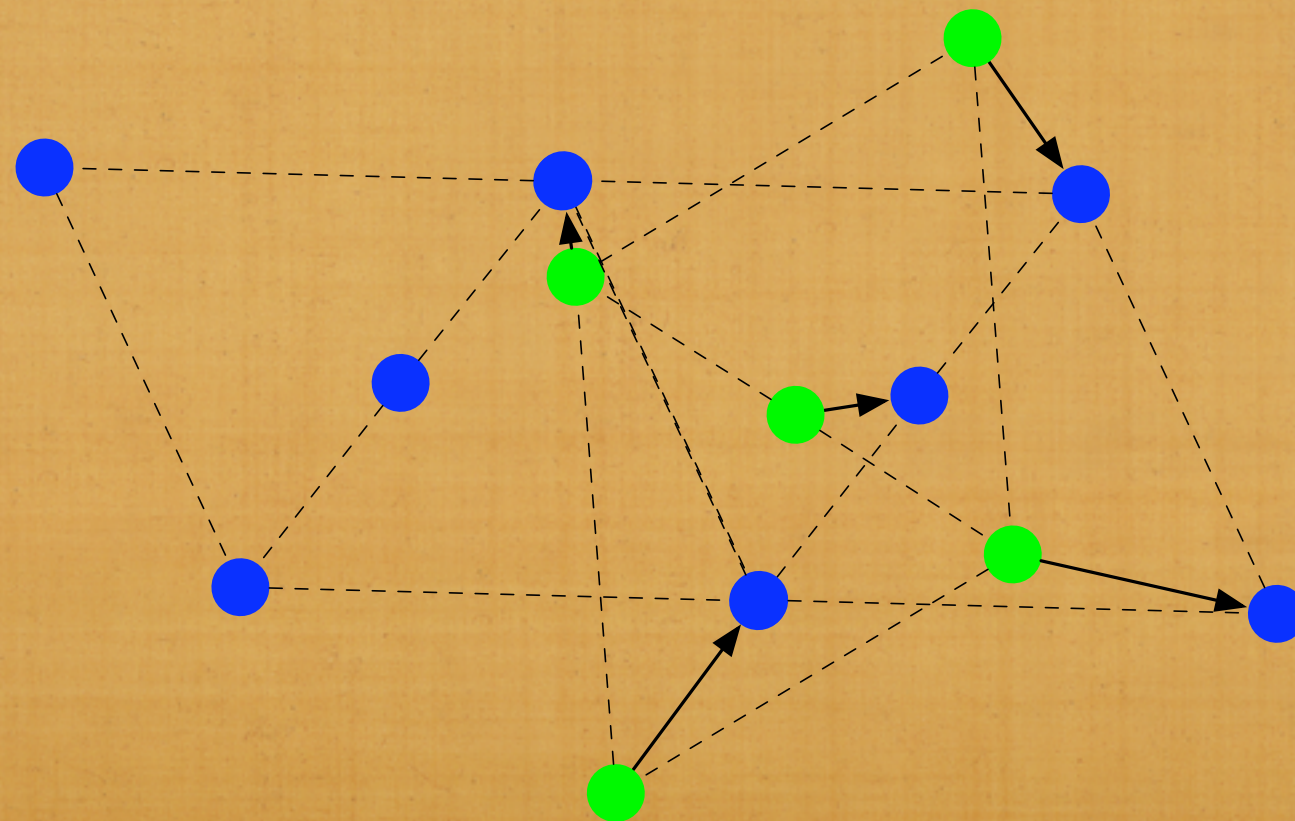
ordre 2, 162 coefficients



ordre 3, 642 coefficients

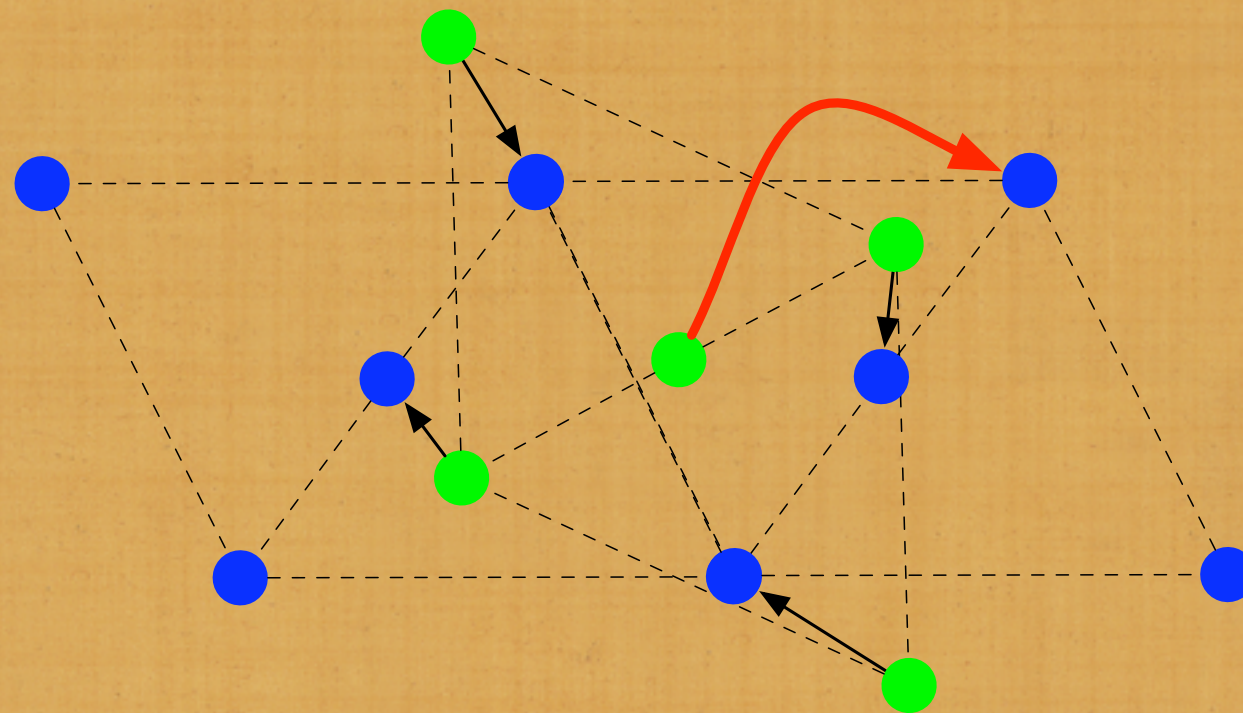
Rotation par permutation (1)

- Les points de contrôle ne se déplacent pas sur la sphère
- On calcule les points de contrôle modifiés, et on les associe aux points de contrôle originaux: cela revient à calculer une permutation
- Il y a une déformation, mais c'est un compromis
- Problème de l'appariement



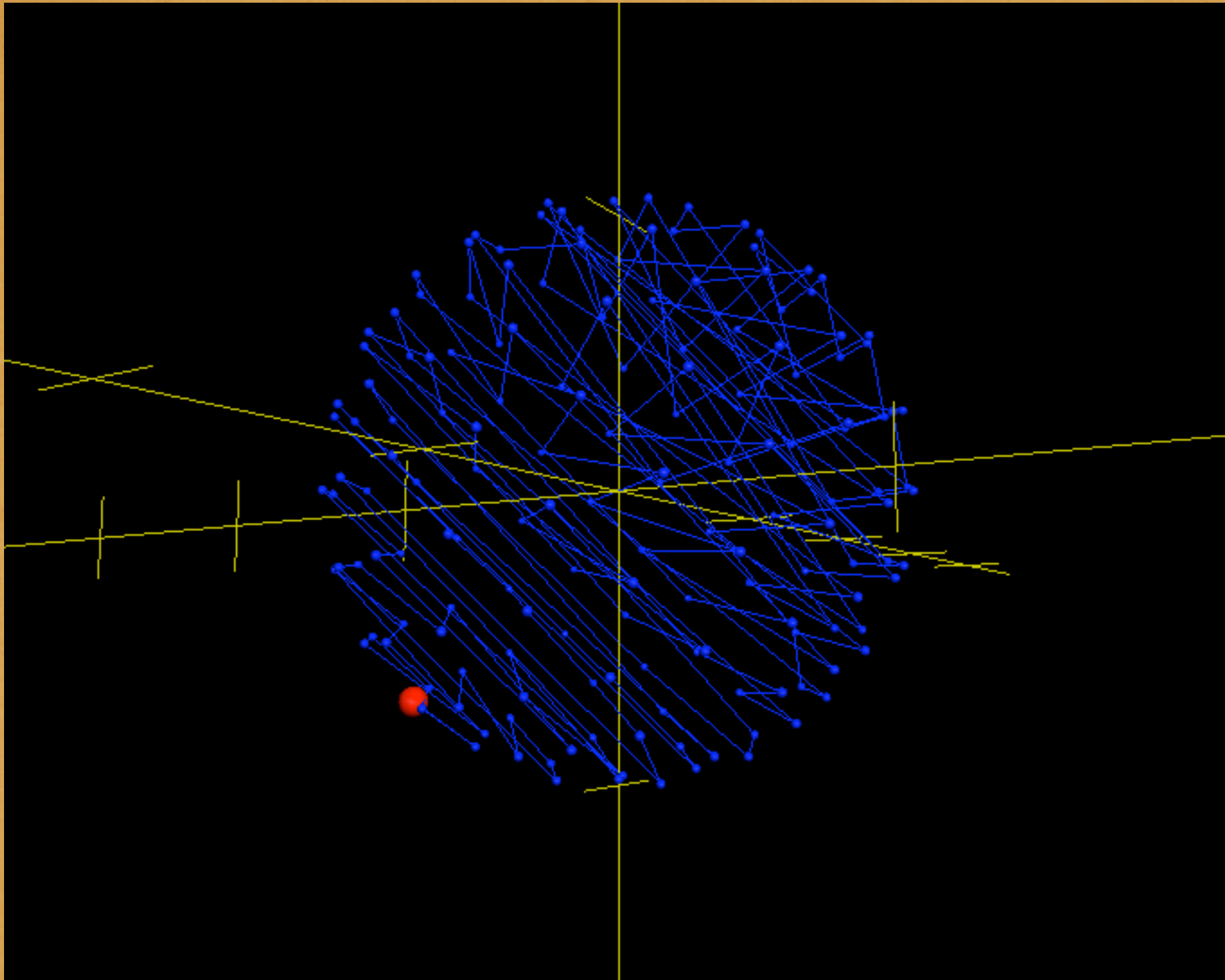
Rotation par permutation (2)

- Problème des appariements “du meilleur au pire” : risque de perturbation trop importante



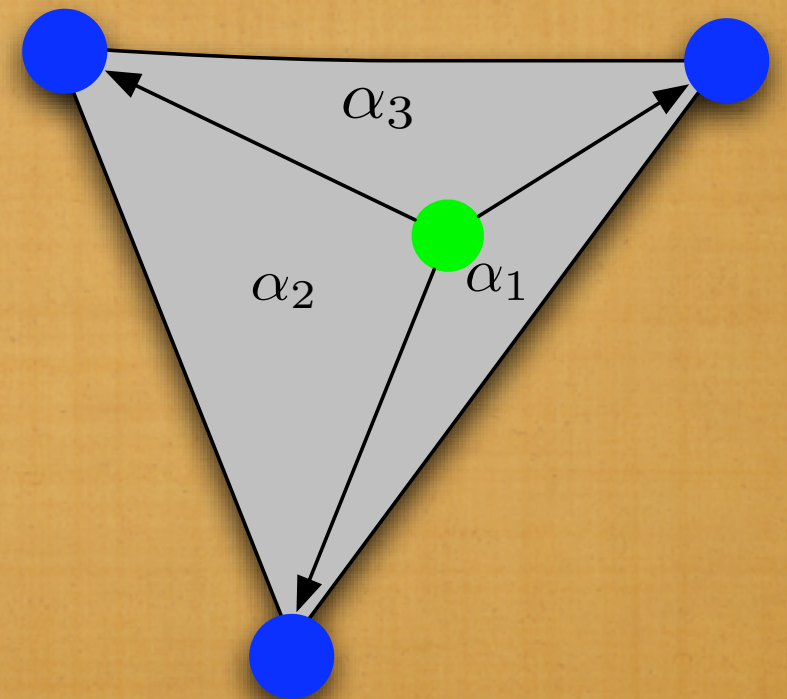
- Une solution : on part d'un point (le meilleur appariement), puis on apparie au mieux les autres points, en commençant par le point le plus proche du point initial, et en s'éloignant de plus en plus

Rotation par permutation (3)



Rotation par permutation (4)

- Système de permutation :
 - Rotation non continue
 - pré-calculé pour différents angles
 - Rotations incrémentales possible, mais accumulation d'erreur
- Plus finement, on peut ré-attribuer des poids, en fonction des poids de l'interpolation du nouveau point
 - On retrouve du continu



Représentation d'une distribution donnée (1)

- Pour un point réel, on connaît son interpolation

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & w_4 & 0 & w_6 & 0 & 0 & w_9 \\ w_1 & w_2 & 0 & w_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_2 & w_3 & w_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & \dots & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & w_6 & w_7 & w_8 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}$$

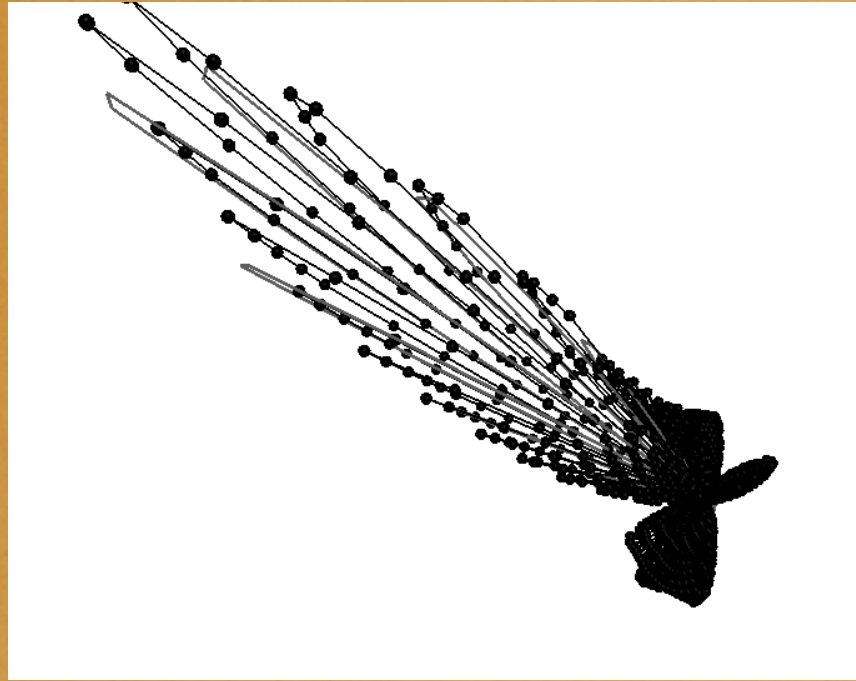
w_i : poids des points de contrôle

x_i : valeur (radiale) des points de contrôle

y_i : valeur radiale des points réels

- Technique des moindres carrés efficace
- Un point réel = une contrainte; résolution par programmation linéaire (optimiser norme infinie de l'erreur relative)

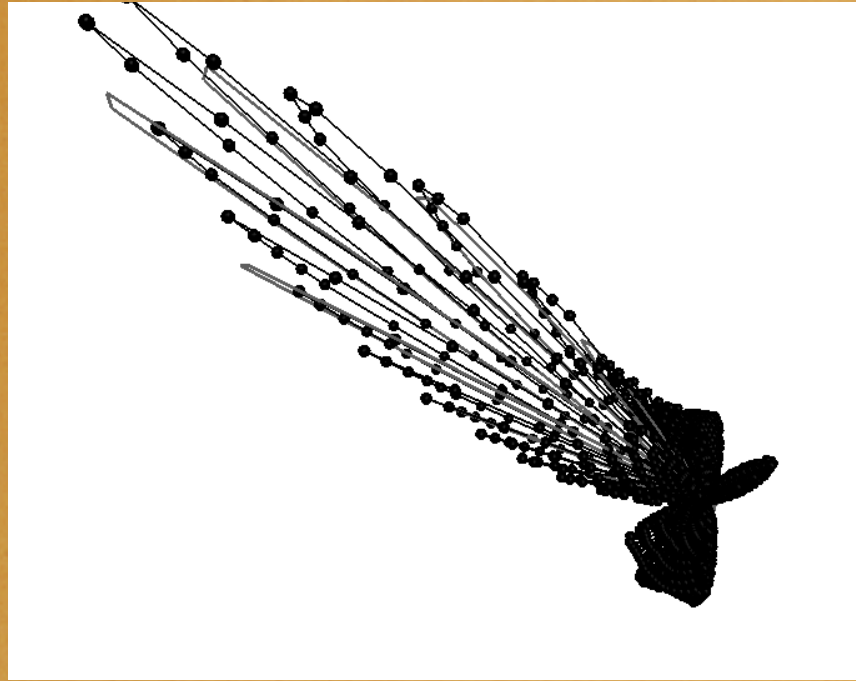
Représentation d'une distribution donnée (2)



optimiser erreur absolue

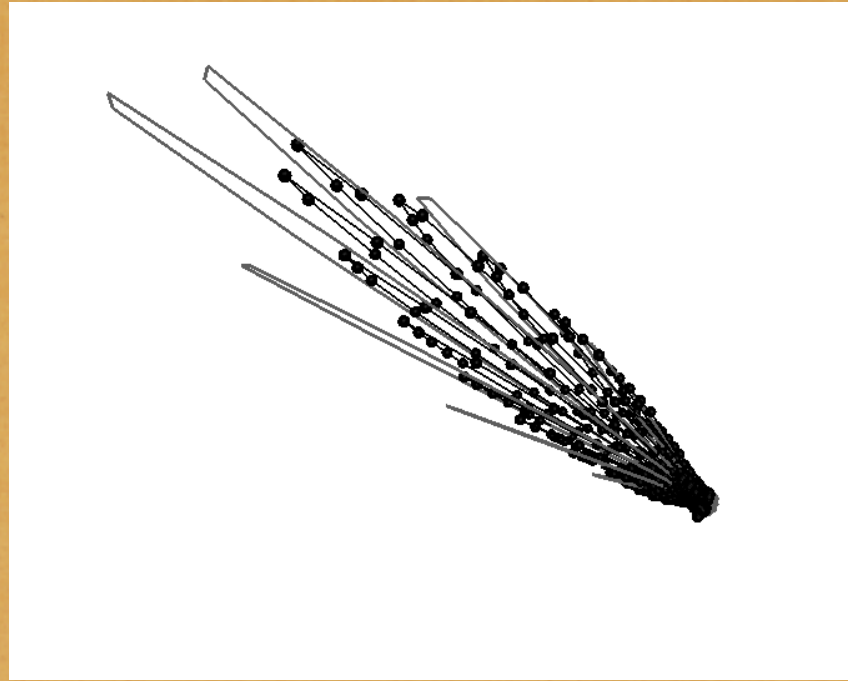
pic ok, problème au pied

Représentation d'une distribution donnée (2)



optimiser erreur absolue

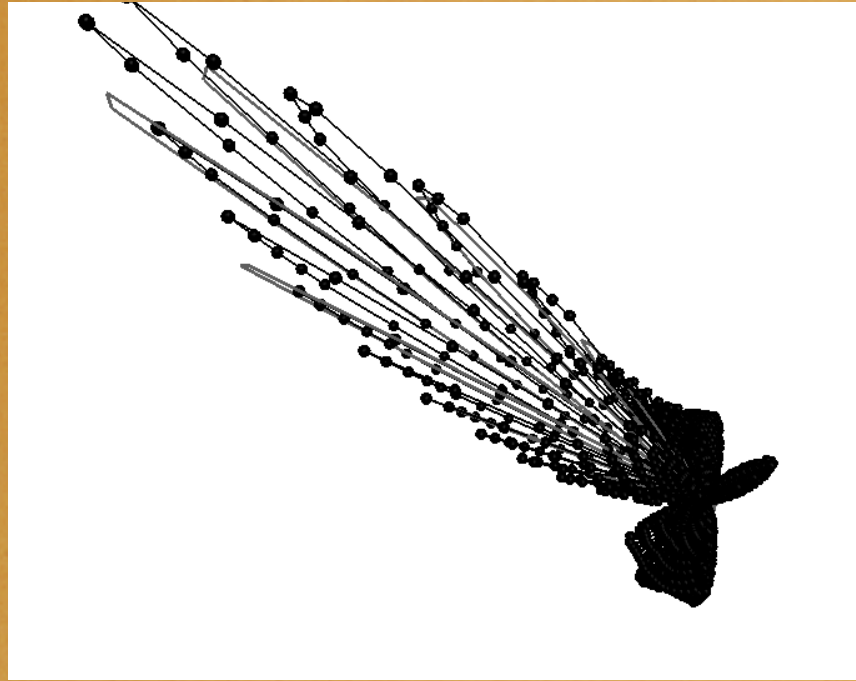
pic ok, problème au pied



optimiser erreur relative

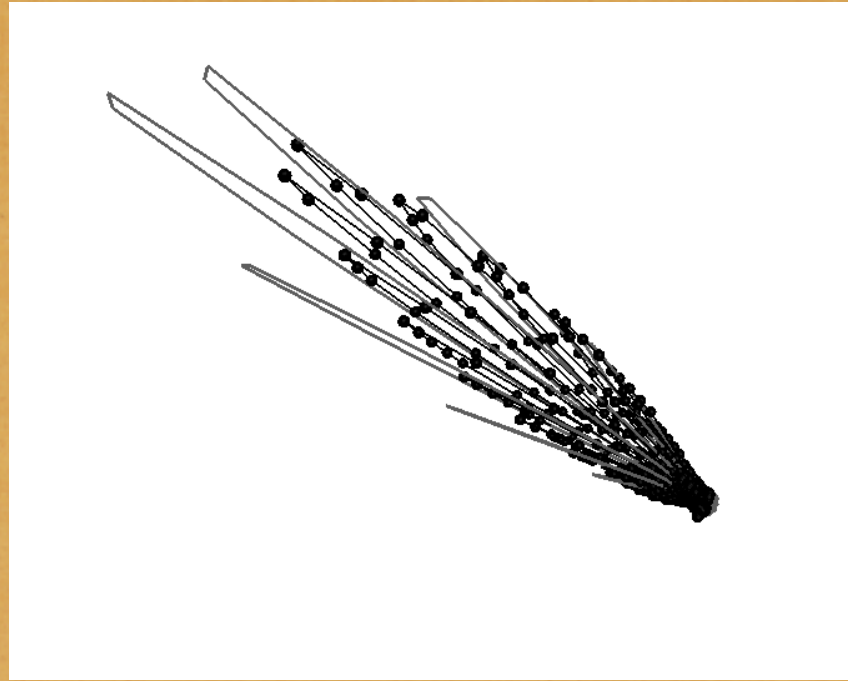
pas de problème au pied,
pic moins bon

Représentation d'une distribution donnée (2)



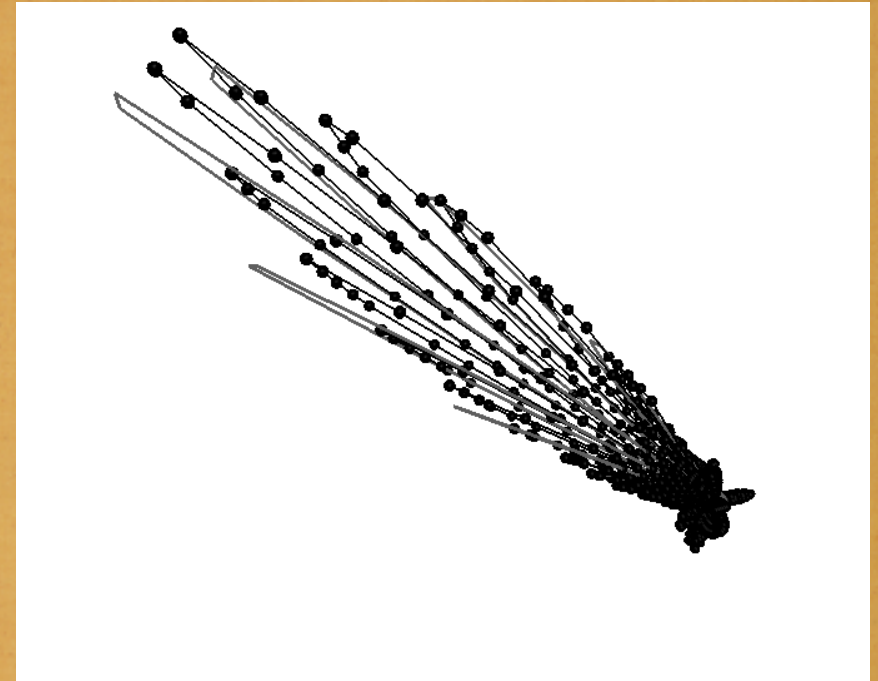
optimiser erreur absolue

pic ok, problème au pied



optimiser erreur relative

pas de problème au pied,
pic moins bon

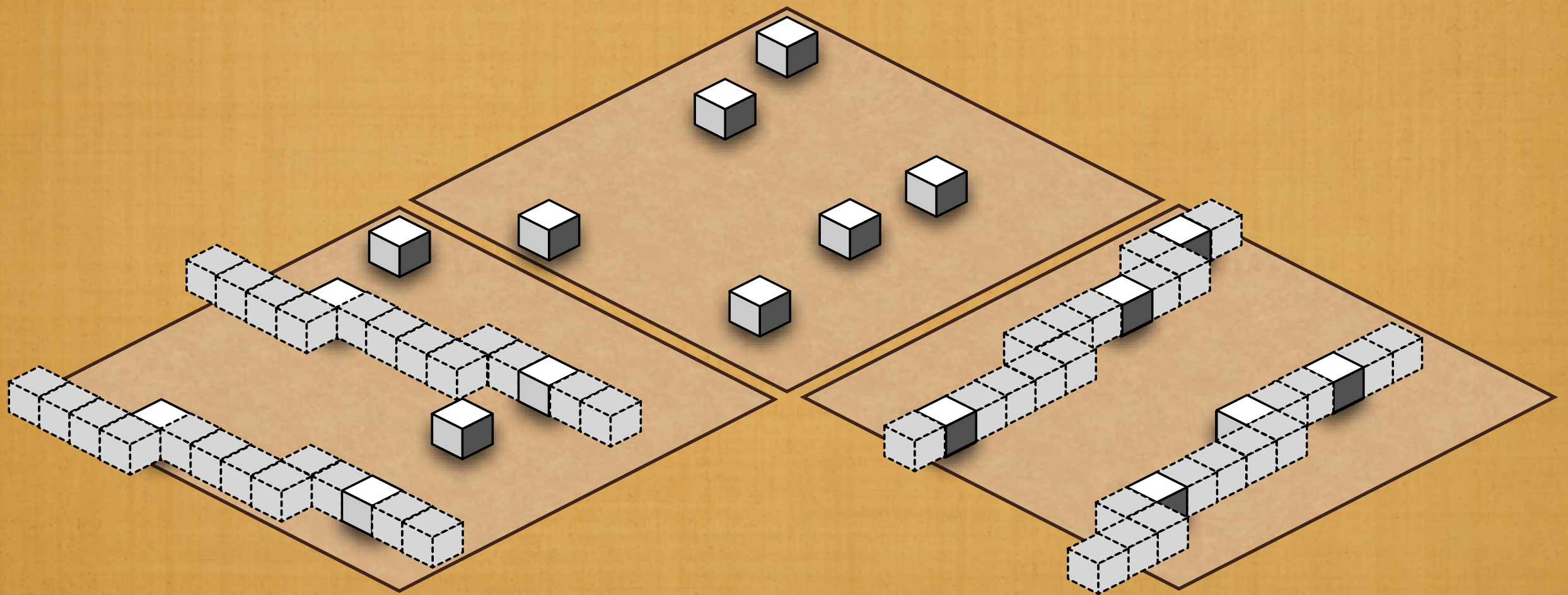


optimiser erreur relative
modifiée

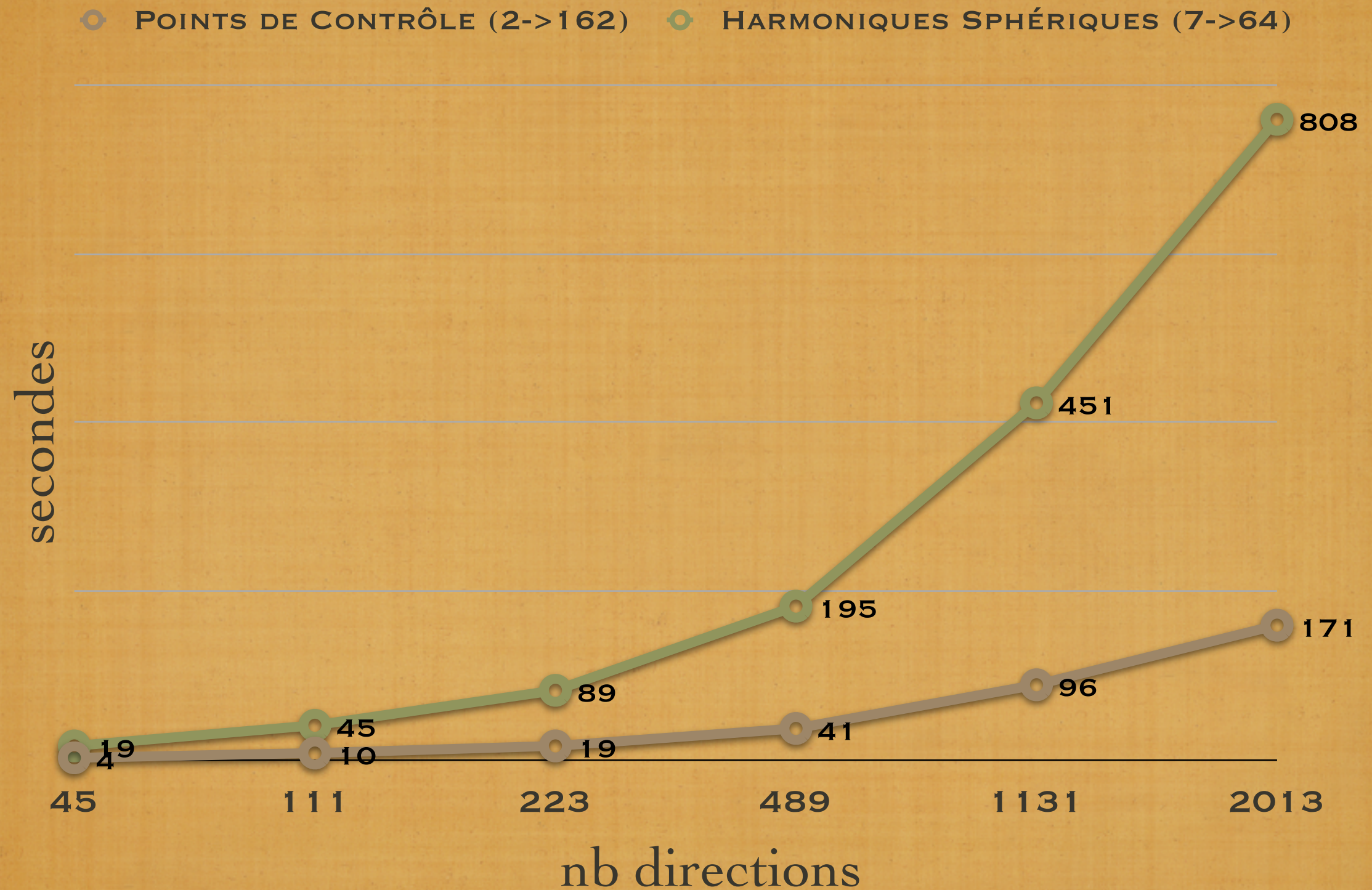
compromis

Adapté à l'algorithme (1)

- Algorithme de radiosité “direction par direction”
- Factorisation du calcul des poids d'interpolation dans une direction
- Gain non négligeable pour matière dense



Adapté à l'algorithme (2)



13000 voxels, 5 itérations

Conclusion

- Beaucoup plus rapide que les harmoniques sphériques
- Bonne précision sur les formes assez douces
- Bien adapté à l'algorithme de radiosité voxelique
- Plus léger en calculs, mais plus lourd en mémoire (plus de coefficients à stocker)

Perspectives

- Une forme d'émission par voxel : coûteux en mémoire
- Effet d'aliasing plus visible qu'avec des patches
- Idée: partager les formes d'émission entre voxels d'une même facette
- l'algorithme en voxels peut alors être mixé avec l'algorithme surfacique (subdivision évolutive...)
- Intérêt : le calcul s'affine quand on ajoute des directions, pas seulement des itérations

