

Reconstruction de surfaces

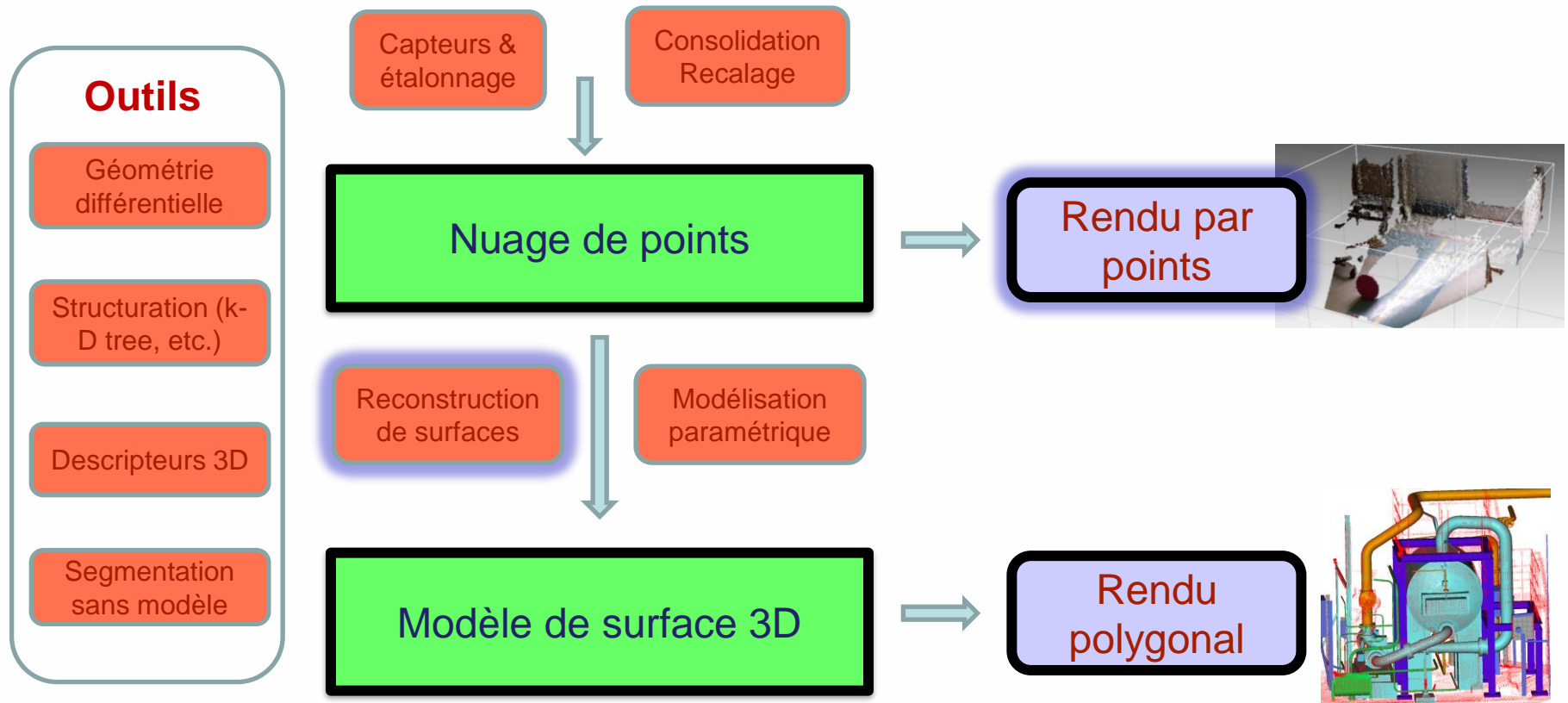
Jean-Emmanuel DESCHAUD

jean-emmanuel.deschaud@minesparis.psl.eu

Centre de Robotique
Mines Paris - PSL

Nuages de points et modélisation 3D

Vue d'ensemble



Plan du cours

I. Introduction

I. Pourquoi faire?

II. Exemples de domaines d'applications

II. Rendu de nuages de points

III. Reconstruction de surfaces

Pourquoi faire?

- Visualisation d'un nuage de points sous CloudCompare



Exemples de domaines d'applications

- Archéologie
 - Restitutions
- Industrie
 - Qualité produit
- Jeux vidéos
 - Scènes réelles
- Patrimoine
 - Visite virtuelle



Démo « Fontainebleau » de Unity

Deux approches

- Faire du rendu de nuage de points
- Faire de la reconstruction de surface
 - Puis du rendu à partir d'un maillage

Plan du cours

- I. Introduction / Problématique
- II. Rendu de nuages de points
 - I. Splatting
 - II. Rendu en espace image
 - III. Point-NeRF
- III. Reconstruction de surfaces

Rendu de nuage de points



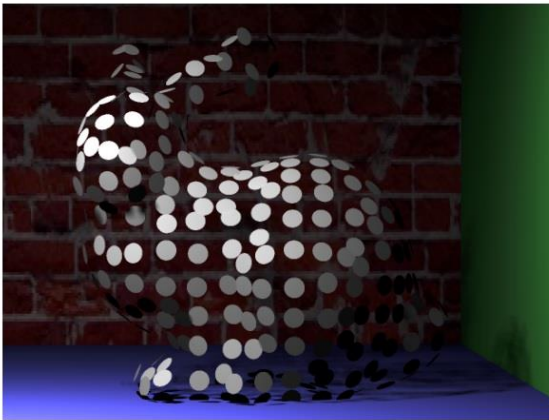
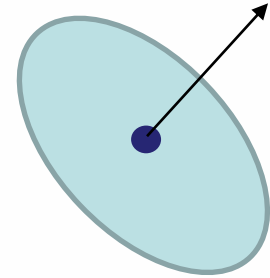
Rendu de nuage de points

- 1. Visibilité des objets cachés
 - Des objets cachés sont visibles par « transparence » du nuage de points
- 2. Trous dans la surface
 - Projection d'un point sur un pixel
 - » -> Augmenter la taille des points

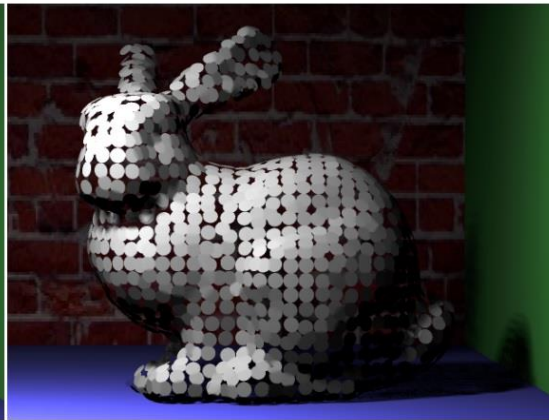
Splatting

[Ray tracing point sampled geometry, 2000]

- Splat :
 - Centre, rayon, normale, couleur...
- La 3D résout la visibilité et le remplissage



(a) Bunny: 500 points, $r = 0.04$



(b) Bunny: 1900 points, $r = 0.03$

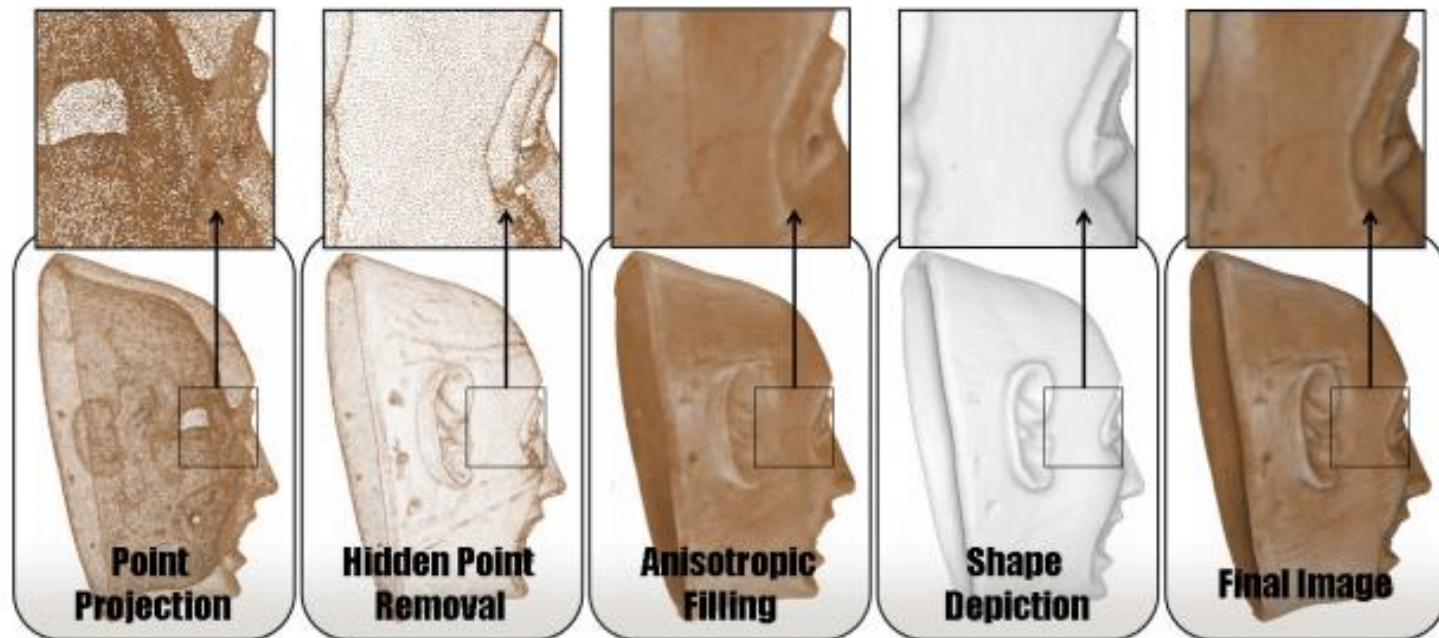


(c) Bunny: 34800 points, $r = 0.014$

Rendu en espace image

[Real-time Rendering of Massive Unstructured Raw Point Clouds using Screen-space Operators, 2011]

- Opérateurs espace image :
 - Visibilité
 - Remplissage



Amélioration du rendu points

[High quality and efficient direct rendering of massive real-worlds point clouds, 2017]

High quality and efficient direct rendering
of massive real-world point clouds

H. Bouchiba, R. Groscot, J-E. Deschaud and F. Goulette

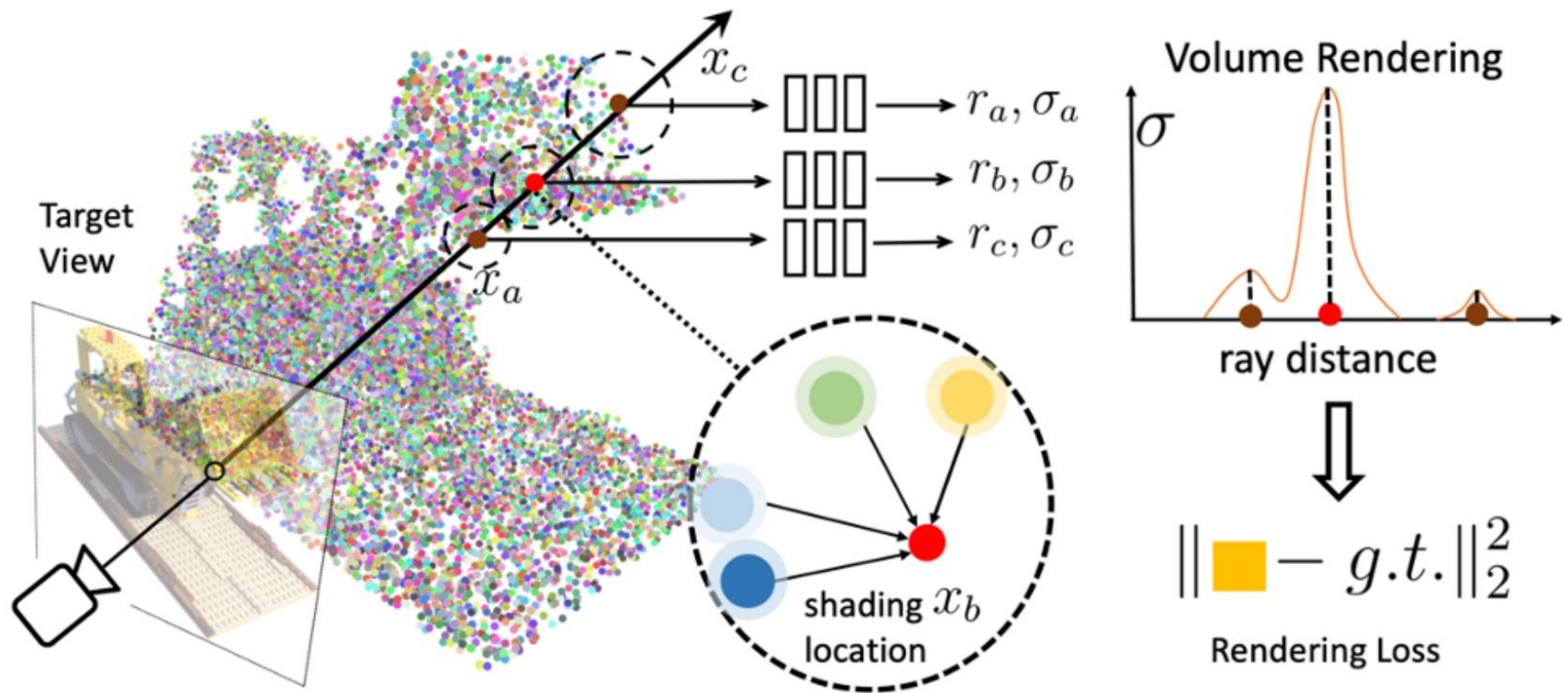
MINES ParisTech, PSL Research University, CAOR - Centre de robotique, 60 Bd St Michel 75006 Paris, France

Application à l'archéologie



Point-NeRF

[Point-NeRF: Point-based Neural Radiance Fields, 2022]



Point-NeRF

[Point-NeRF: Point-based Neural Radiance Fields, 2022]

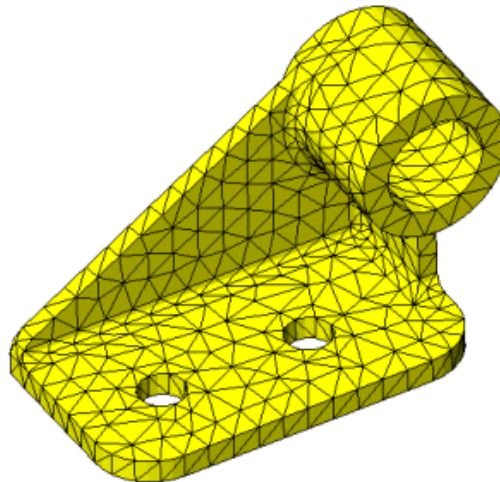


Plan du cours

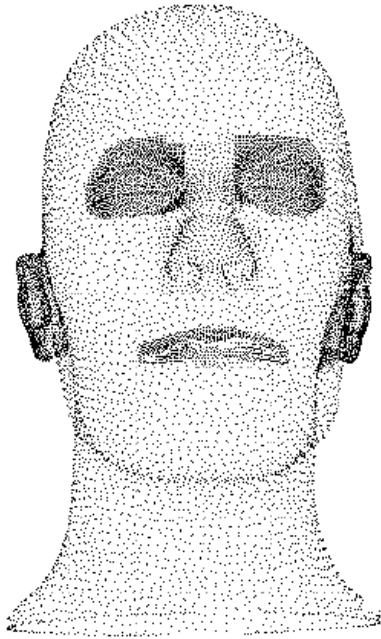
- I. Introduction / Problématique
- II. Rendu de nuages de points
- III. Reconstruction de surfaces**
 - I. Problématique / Contraintes**
 - II. Représentations d'une surface**
 - III. Méthode Locale : IMLS
 - IV. Méthode Globale : PoissonRecon
 - V. Méthode Deep : Points2Surf

Représentation géométrique

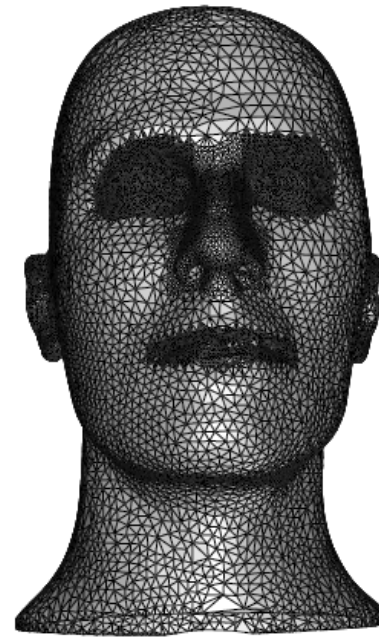
- Maillage = ensemble de sommets connectés
 - Maillage polygonal : connexion entre sommets formant des cycles et définissant des polygones
 - Maillage triangulaire : polygone = triangle
 - On parle ici de maillage surfacique



Problématique sur les surfaces

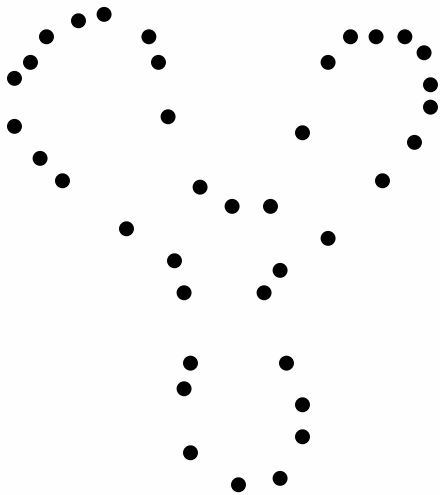


Nuage de points

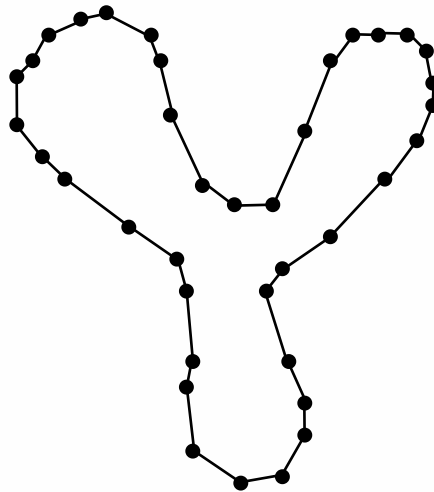


Surface reconstruite

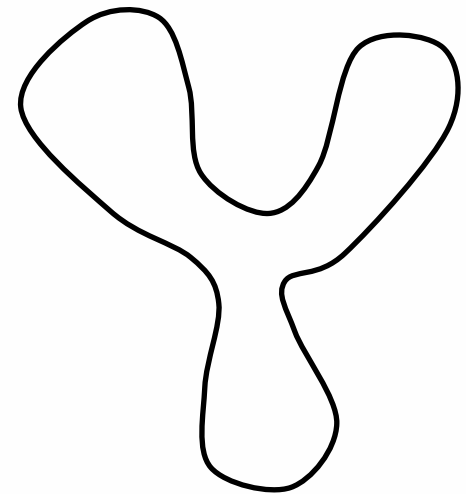
Problématique sur les courbes



Nuage de points

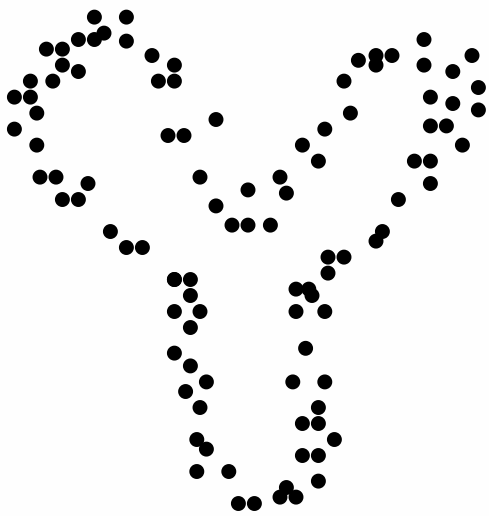


Courbe reconstruite

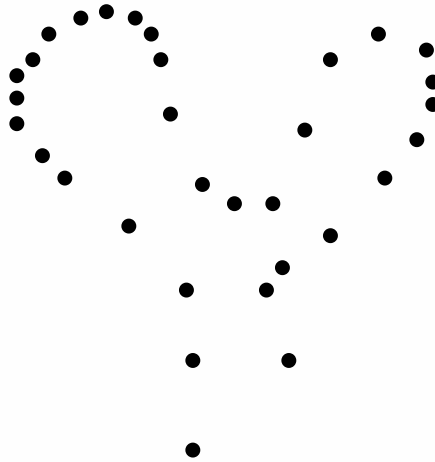


Courbe « réelle »

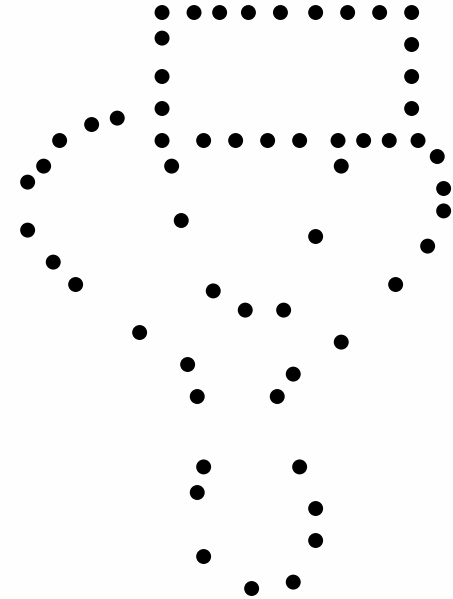
Problème pas si simple



Bruit de mesure



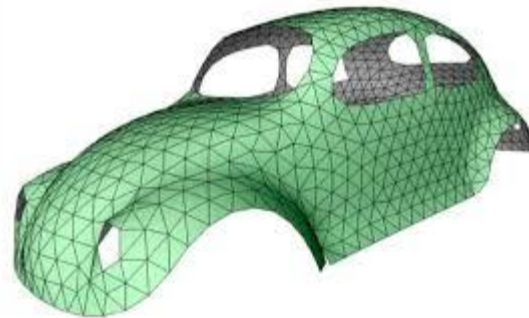
Densité non homogène



Superposition de courbes

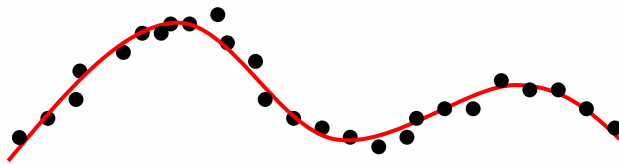
Contraintes de la reconstruction

- La surface reconstruite peut être :
 - Continue ou non
 - Avec ou sans bords

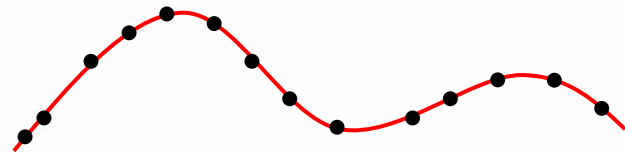


Contraintes de la reconstruction

- La surface reconstruite peut être :
 - Approximante
 - Interpolante



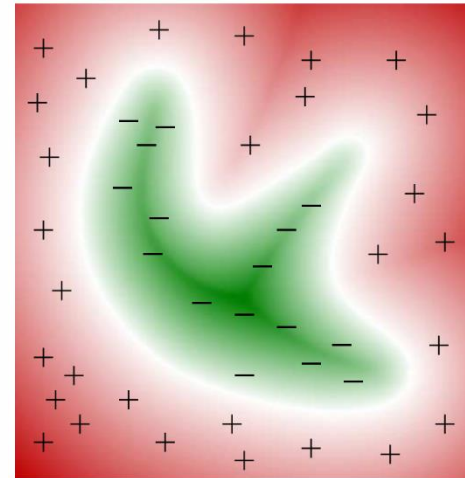
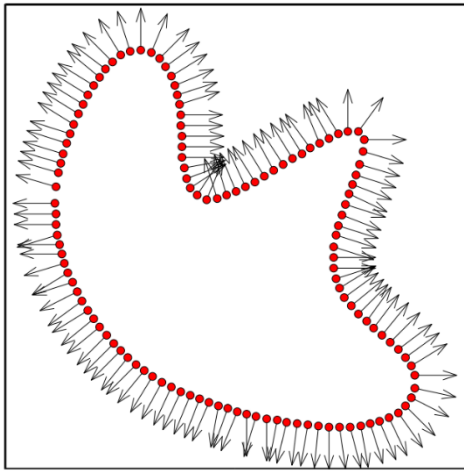
Surface approximante



Surface interpolante

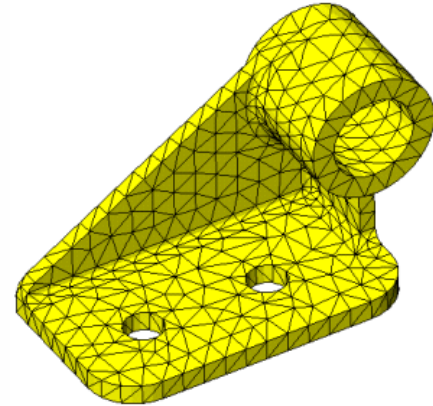
Représentation implicite

- Fonction implicite dont l'iso-zéro représente la surface :



$$S = \{x \in \mathbb{R}^3, f(x) = 0\}$$

Changement de représentation

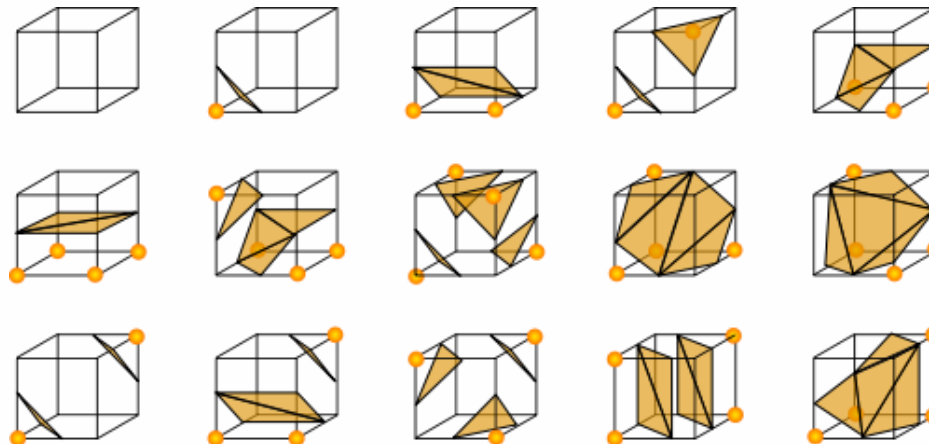


- Implicite -> Maillage :
 - Méthode classique : Marching cubes

Marching Cubes

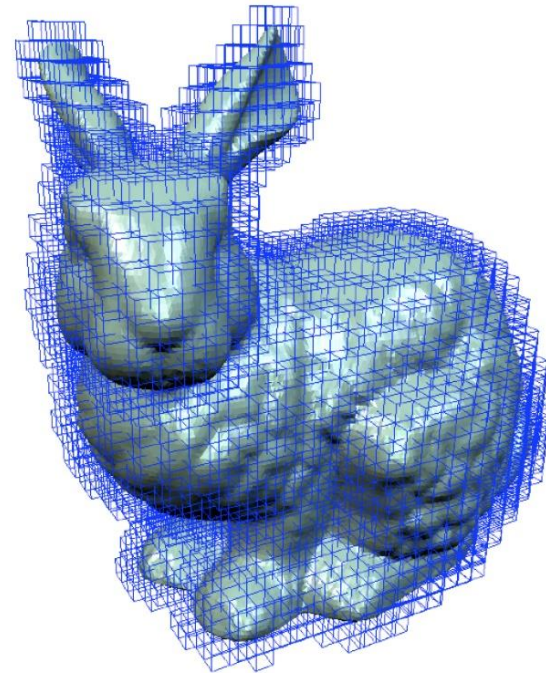
[Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm, 1987]

- Espace découpé en voxels
- Fonction implicite calculée en chaque sommet d'un voxel
 - 256 possibilités qui amènent à la création de 0, 1, 2 ou 3 triangles dans chaque voxel

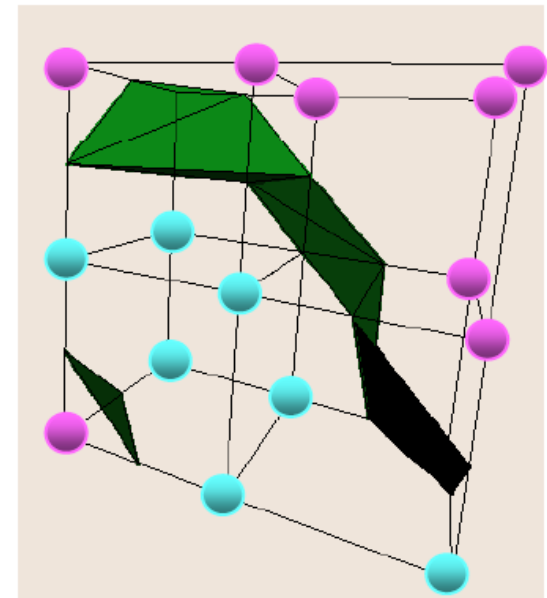
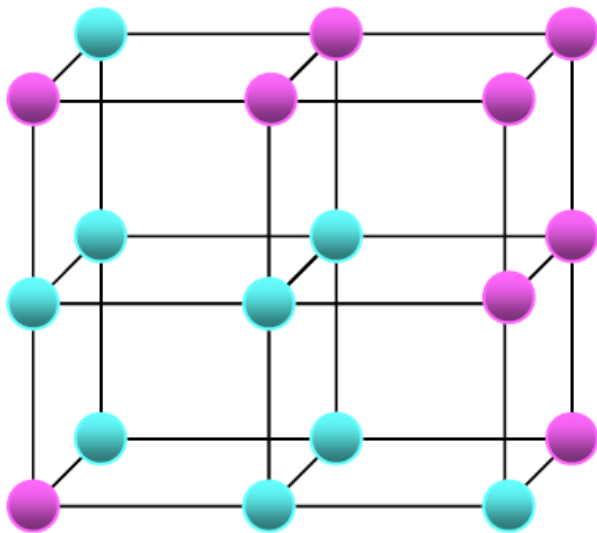


Marching Cubes

- Classification des cellules:
 - Intérieur
 - Extérieur
 - Intersectant



Marching Cubes



Critères de bonne méthode de reconstruction

- Critères :
 - Preuve de convergence
 - Robustesse au bruit
 - Robustesse aux points aberrants
 - Robustesse aux données manquantes
 - Rapidité/Mise à l'échelle

Qualification d'une « bonne » reconstruction

- Vérité Terrain (VT) obtenue par une technologie plus avancée / plus cher
 - Distance entre surface reconstruite et VT
- Mesures relatives sur la surface réelle
 - Comparaison avec la surface reconstruite

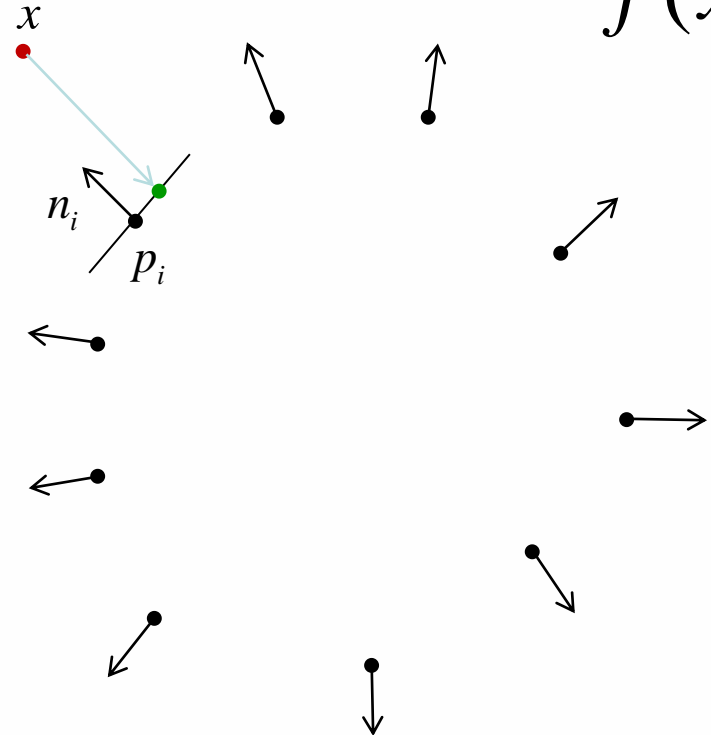
Plan du cours

- I. Introduction / Problématique
- II. Rendu de nuages de points
- III. Reconstruction de surfaces**
 - I. Problématique / Contraintes
 - II. Représentations d'une surface
 - III. Méthode Locale : IMLS**
 - I. Fonction de Hoppe (1992)
 - II. Implicit Moving Least Squares (2005)

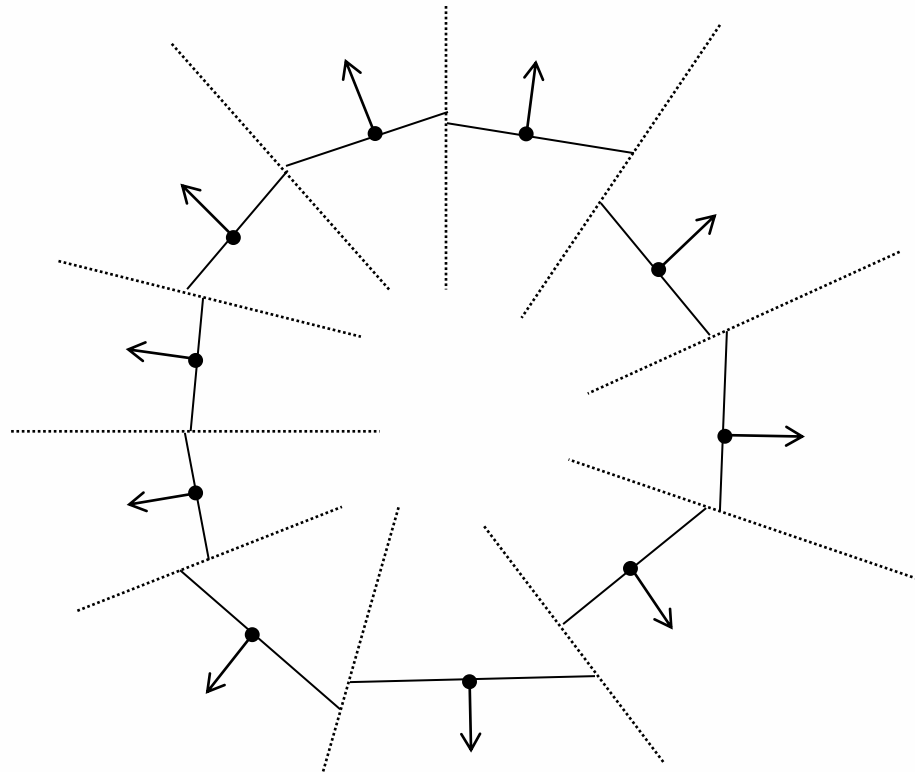
Fonction de Hoppe

[Surface reconstruction from unorganized points, 1992]

- Principe :


$$f(x) = n_i \cdot (x - p_i)$$
$$S = \{x \in \mathbb{R}^3, f(x) = 0\}$$

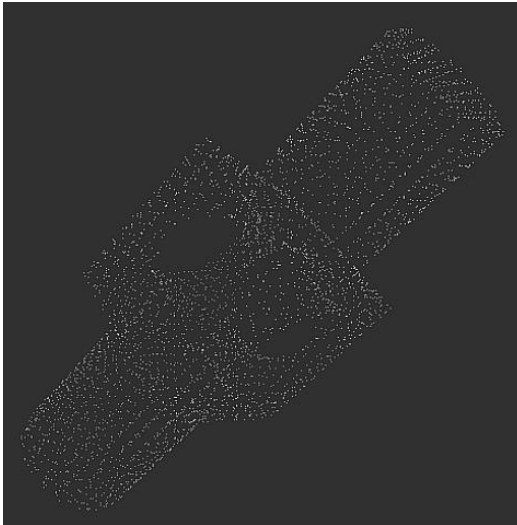
Fonction de Hoppe



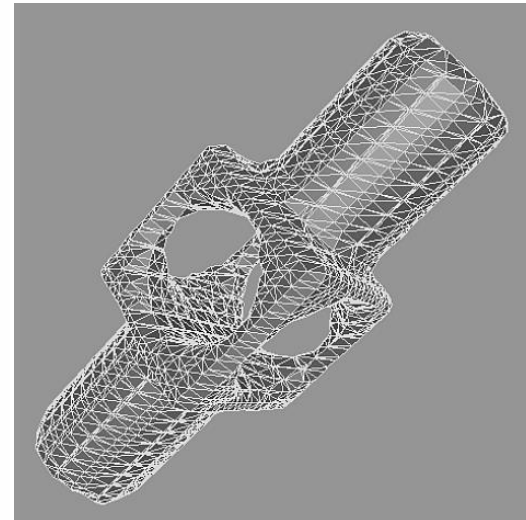
Surface non continue

Fonction de Hoppe

- Résultat



Nuage de 4102 points
venant d'un modèle
CAO



Maillage obtenu par
marching cubes

Plan du cours

- I. Introduction / Problématique
- II. Rendu de nuages de points
- III. Reconstruction de surfaces**
 - I. Problématique / Contraintes
 - II. Représentations d'une surface
 - III. Méthode Locale : IMLS**
 - I. Fonction de Hoppe (1992)
 - II. Implicit Moving Least Squares (2005)**

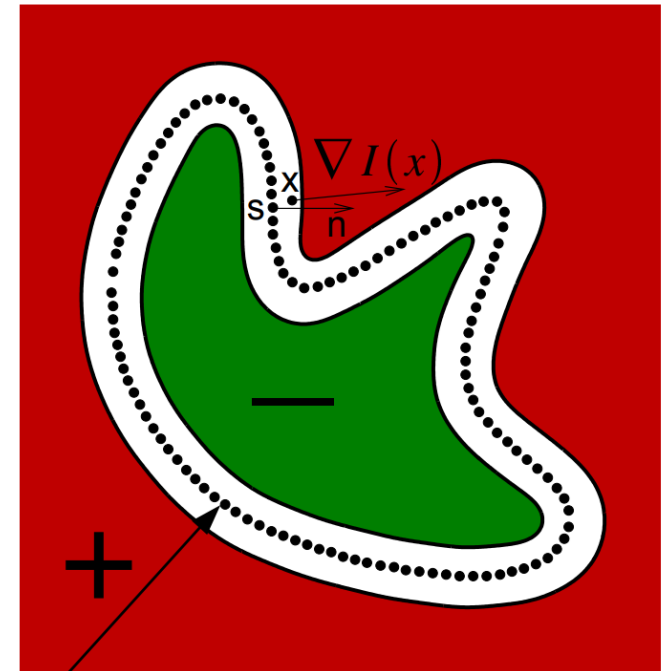
Implicit Moving Least Squares (IMLS)

[Provably Good Moving Least Squares, 2005]

- Fonction IMLS :

$$I(x) = \frac{\sum_i (n_i \cdot (x - p_i)) \theta(x - p_i)}{\sum_i \theta(x - p_i)}$$

$$\text{avec } \theta(x - p_i) = e^{-\frac{\|x - p_i\|^2}{h^2}}$$

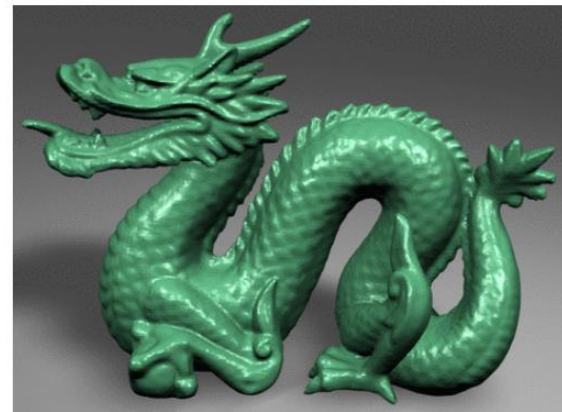


Iso-zéro de I

- Pourquoi IMLS est une méthode locale ?

Quelques résultats

- Surfaces IMLS :

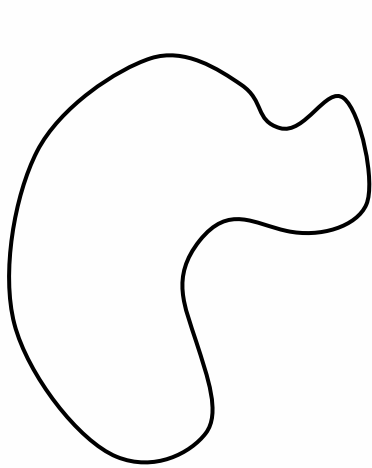


Plan du cours

- I. Introduction / Problématique
- II. Rendu de nuages de points
- III. Reconstruction de surfaces**
 - I. Problématique / Contraintes
 - II. Représentations d'une surface
 - III. Méthode Locale : IMLS
 - IV. Méthode Globale : PoissonRecon**
 - V. Méthode Deep : Points2Surf

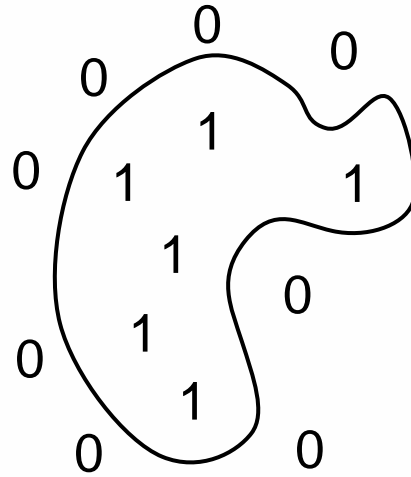
Screened Poisson Reconstruction (SPR)

[Screened Poisson Surface Reconstruction, 2013]



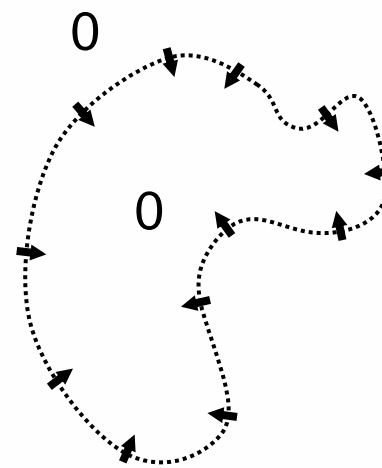
2-variété inconnue

M



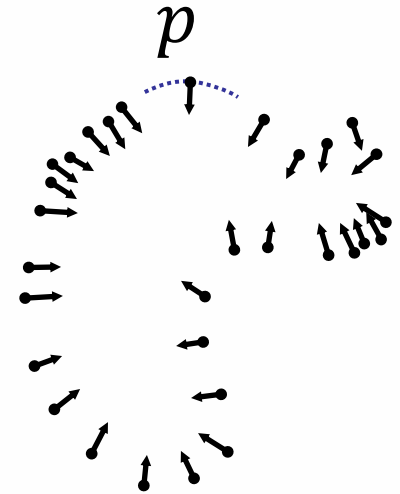
Fonction indicatrice

χ_M



Gradient de l'indicatrice

$\nabla \chi_M$



Points orientés

$$\nabla \chi_M \approx V \quad \text{et} \quad \chi_M(p) \approx 0.5$$

Approche de Poisson

- Trouver χ qui minimise :

$$E(\chi) = \int \left\| \vec{V}(p) - \nabla \chi(p) \right\|^2 dp + \alpha \sum_{p \in \mathcal{P}} (\chi(p) - 0.5)^2$$

- Résoudre équation de Laplace-Poisson

$$(\Delta - \alpha \tilde{I})\chi = \nabla \cdot \vec{V}$$

- Extraire l'isosurface $\chi^{-1}(0.5)$

Discrétisation

- Définir un espace de fonctions pour χ et V :

$$\chi(p) = \sum_{i=1}^N x_i B_i(p)$$

- Cela revient à résoudre : $Ax = b$

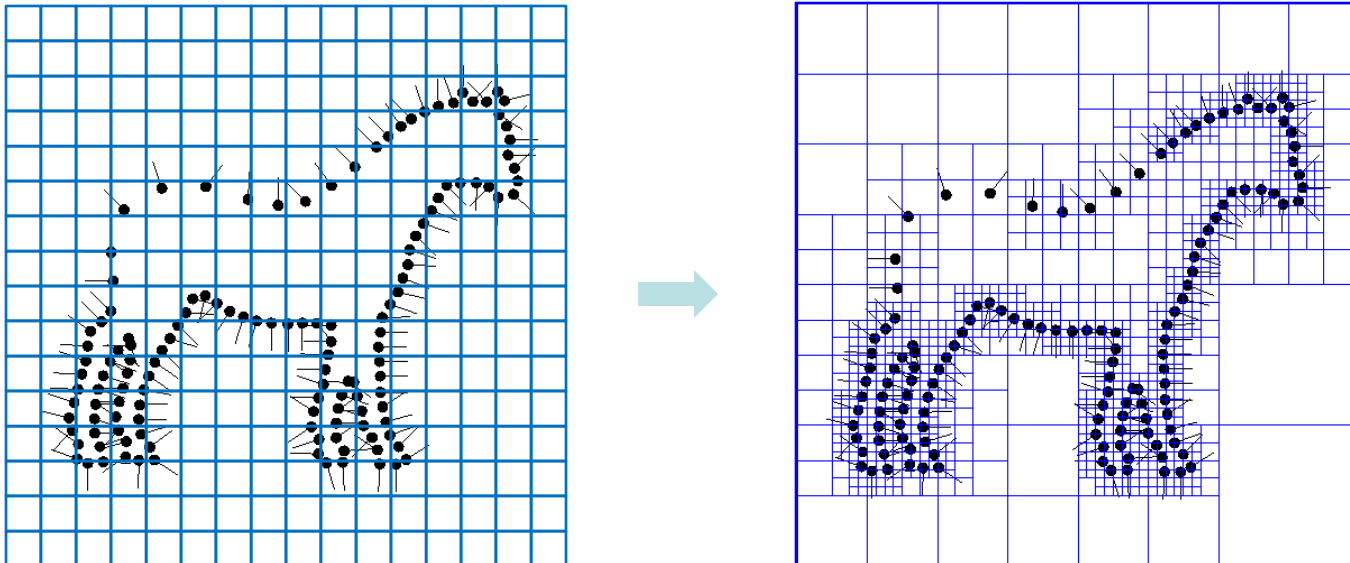
Avec :

$$A_{ij} = \langle \nabla B_i, \nabla B_j \rangle_{[0,1]^3} + \alpha \langle B_i, B_j \rangle_{(w, \mathcal{P})}$$

$$b_i = \langle \vec{V}, \nabla B_i \rangle_{[0,1]^3}$$

Discrétisation

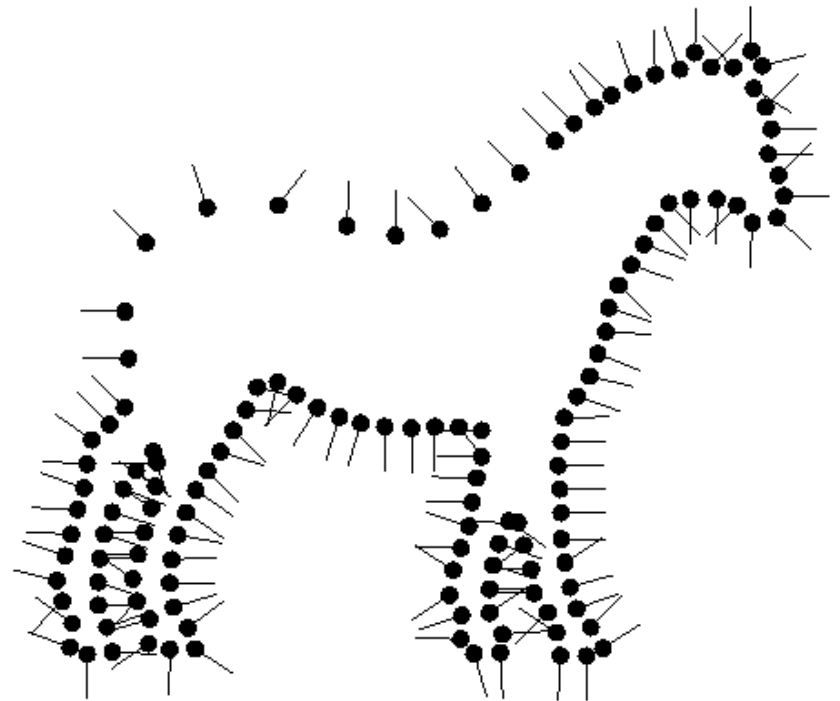
- Besoin d'une solution précise seulement près de la surface
→ Octree (arrêt : 1 à n points par cellule)



Implémentation

En partant des échantillons:

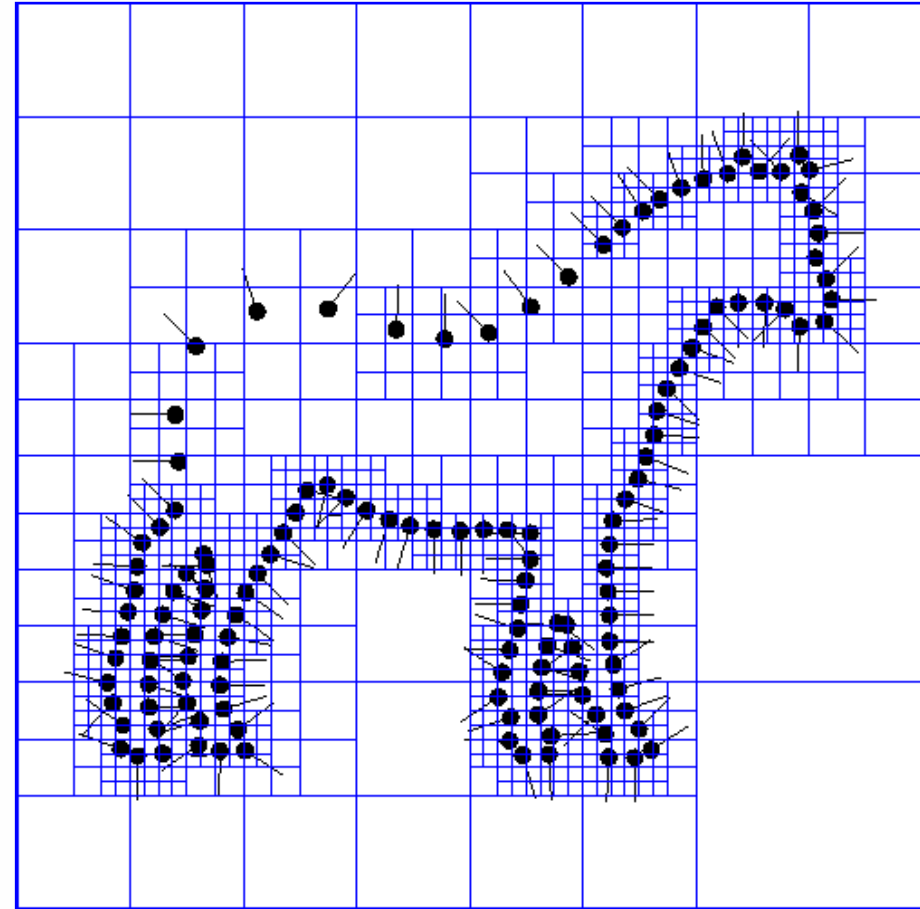
- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
- Extraire l'isosurface



Implémentation: octree

En partant des
échantillons :

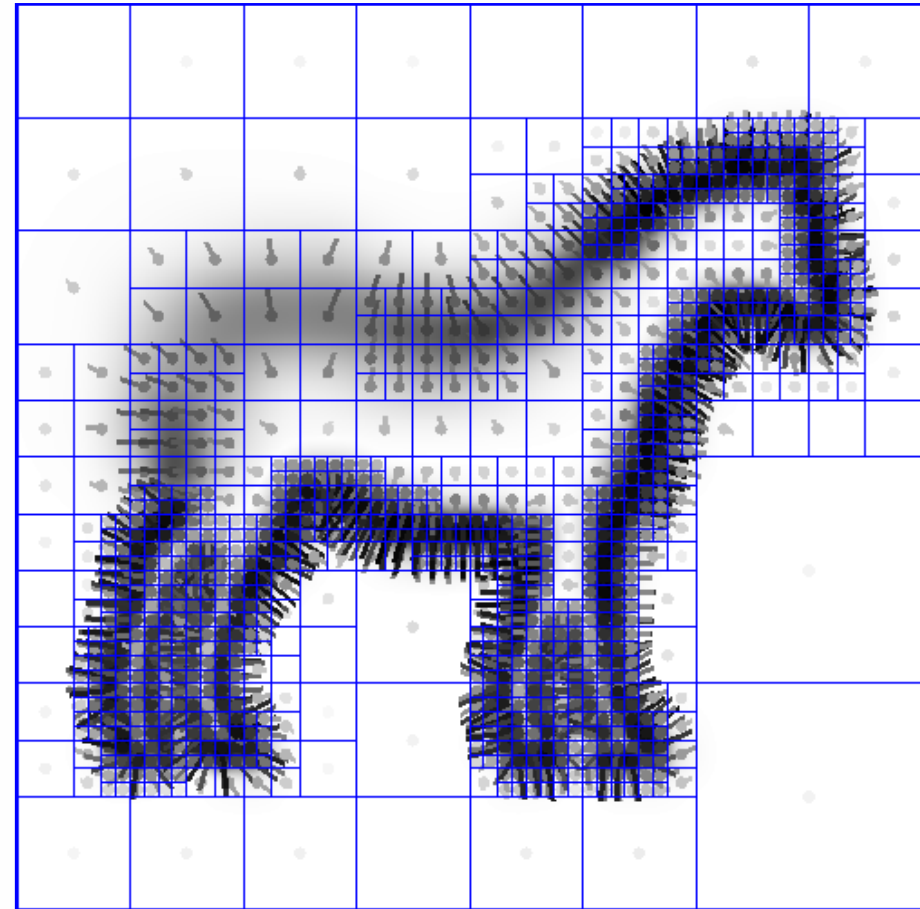
- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
- Extraire l'isosurface



Implémentation: champs de vecteur

En partant des échantillons:

- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
- Extraire l'isosurface



Implémentation: fonction indicatrice

En partant des échantillons:

- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
 - Calculer la divergence
 - Résoudre l'équation de Poisson
- Extraire l'isosurface



Implémentation: fonction indicatrice

En partant des échantillons:

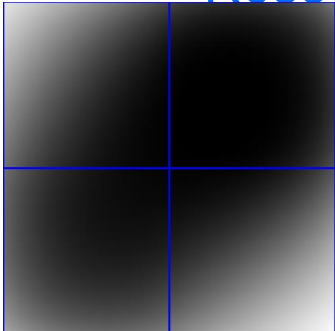
- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
 - Calculer la divergence
 - Résoudre l'équation de Poisson
- Extraire l'isosurface



Implémentation: fonction indicatrice

En partant des échantillons:

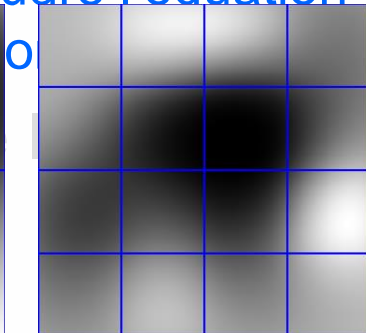
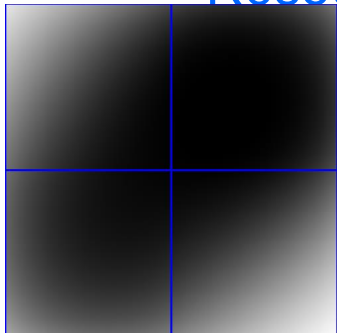
- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
 - Calculer la divergence
 - Résoudre l'équation de Poisson
 - Calculer l'isosurface



Implémentation: fonction indicatrice

En partant des échantillons:

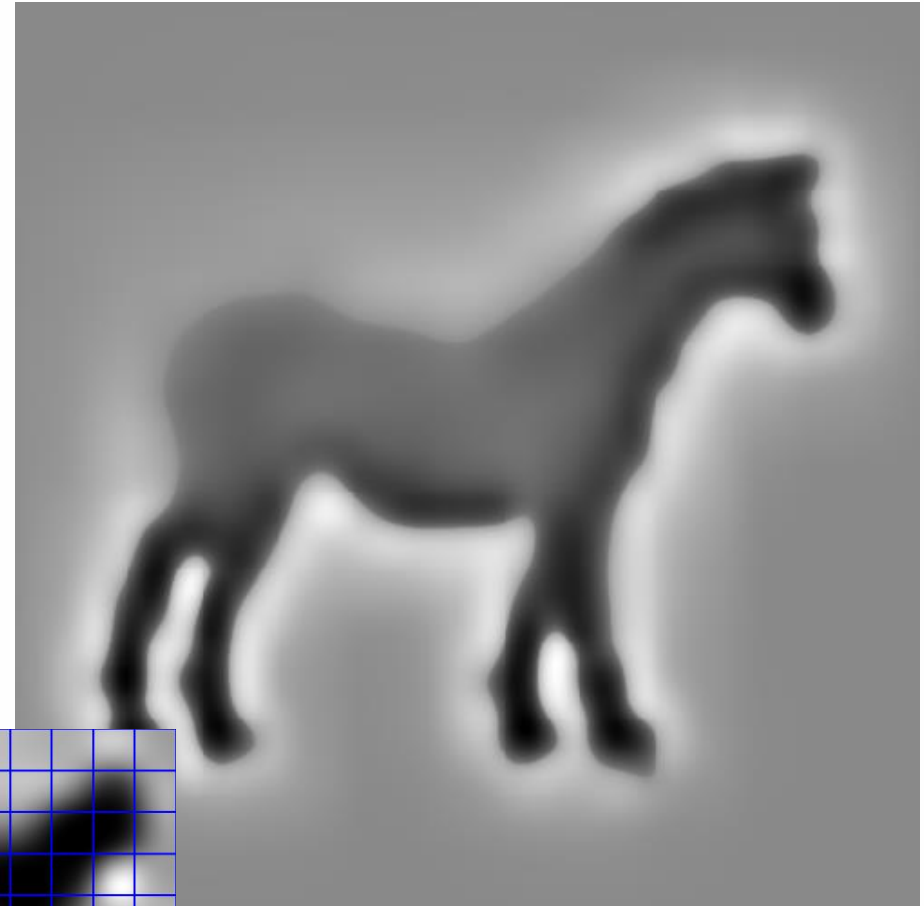
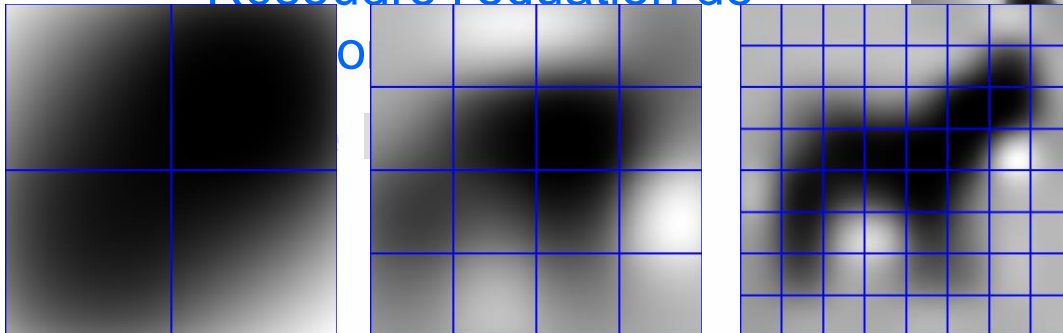
- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
 - Calculer la divergence
 - Résoudre l'équation de



Implémentation: fonction indicatrice

En partant des échantillons:

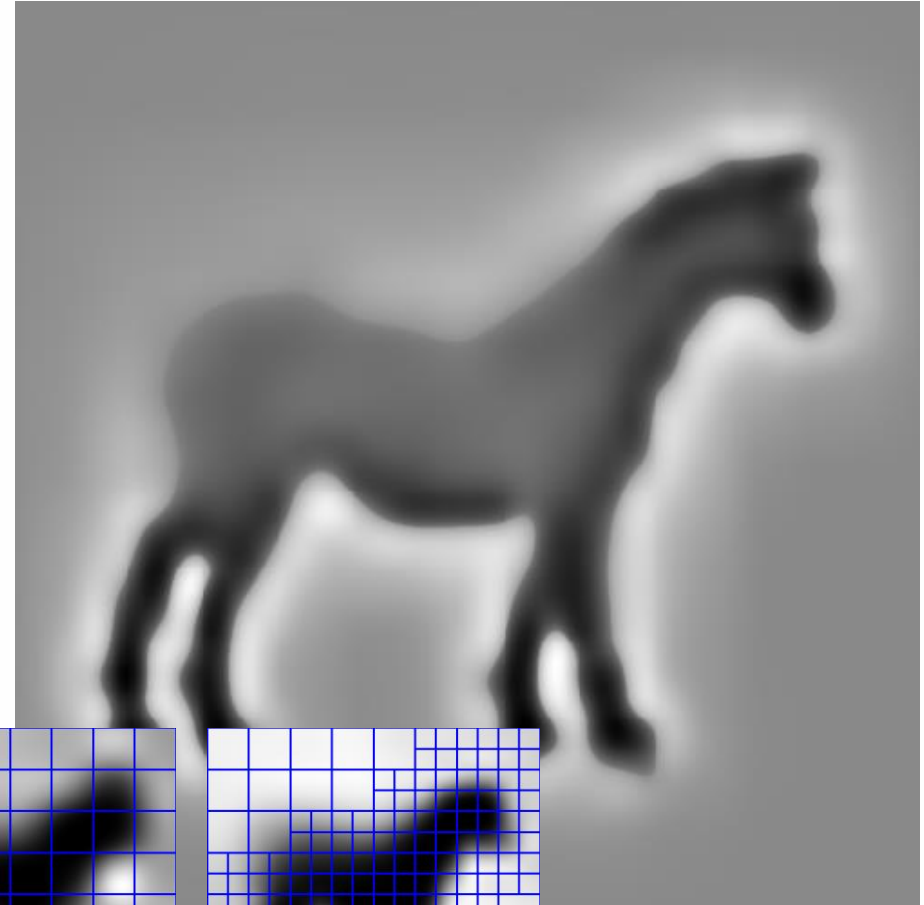
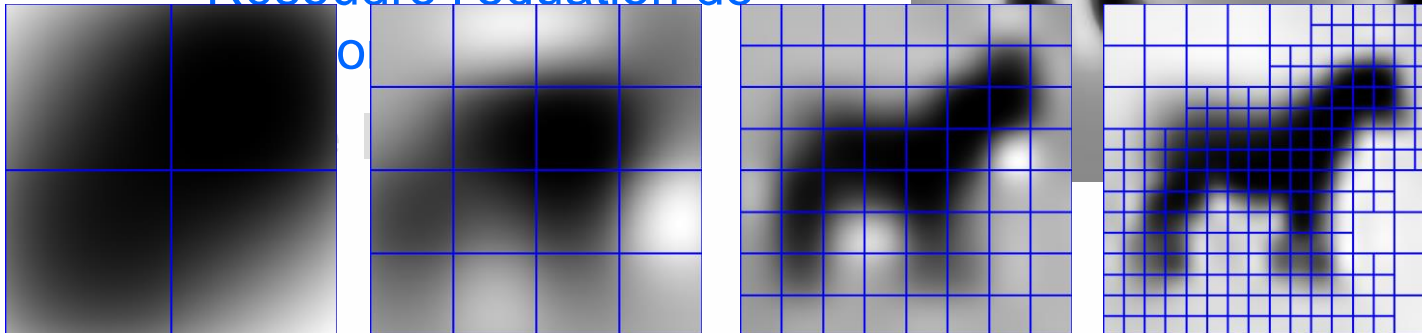
- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
 - Calculer la divergence
 - Résoudre l'équation de



Implémentation: fonction indicatrice

En partant des échantillons:

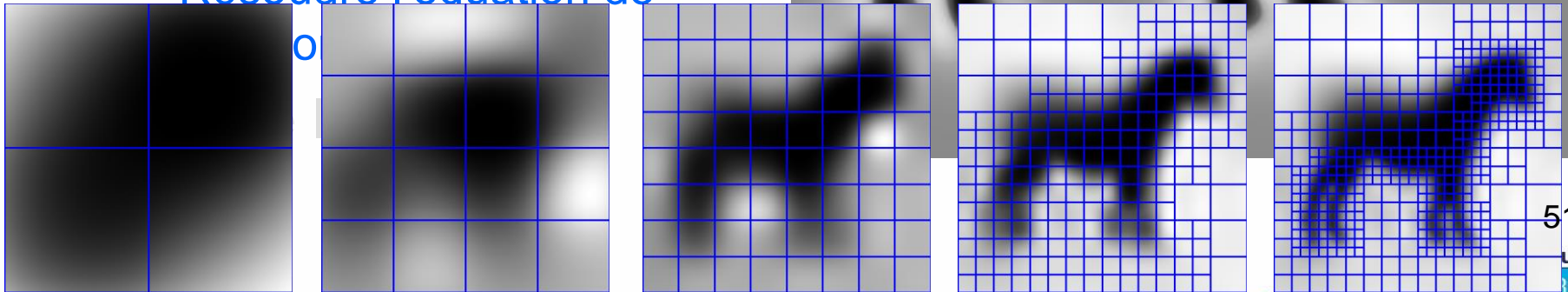
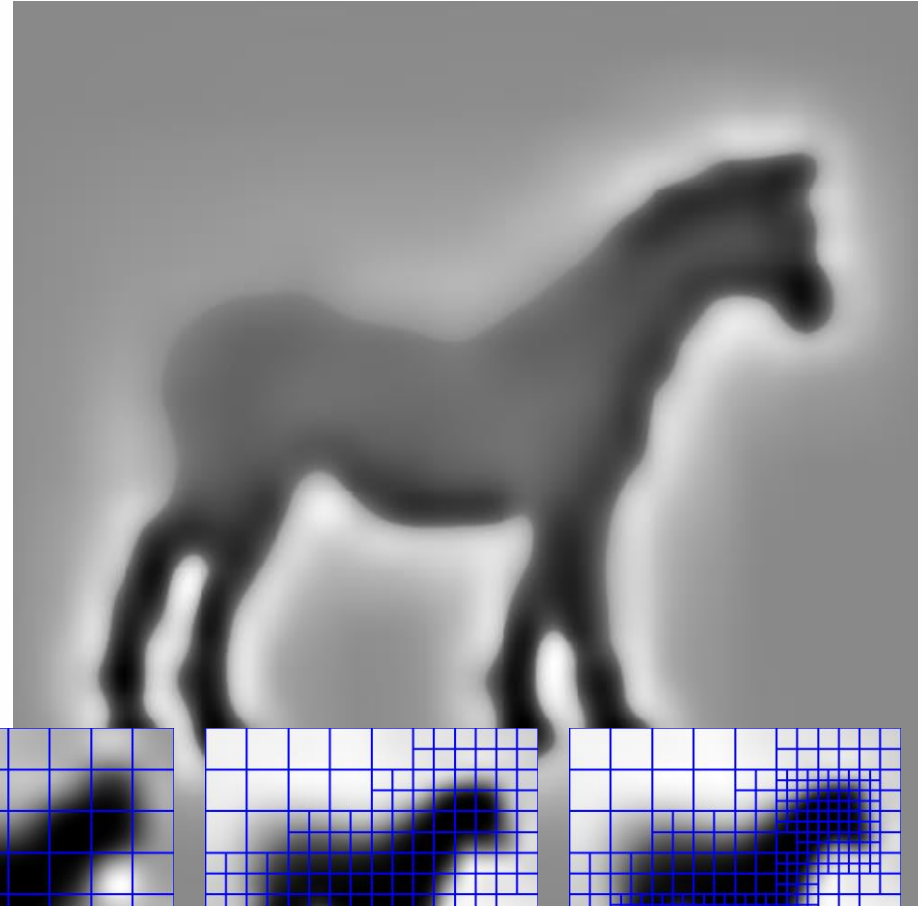
- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
 - Calculer la divergence
 - Résoudre l'équation de



Implémentation: fonction indicatrice

En partant des échantillons:

- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
 - Calculer la divergence
 - Résoudre l'équation de



Implémentation: fonction indicatrice

En partant des échantillons:

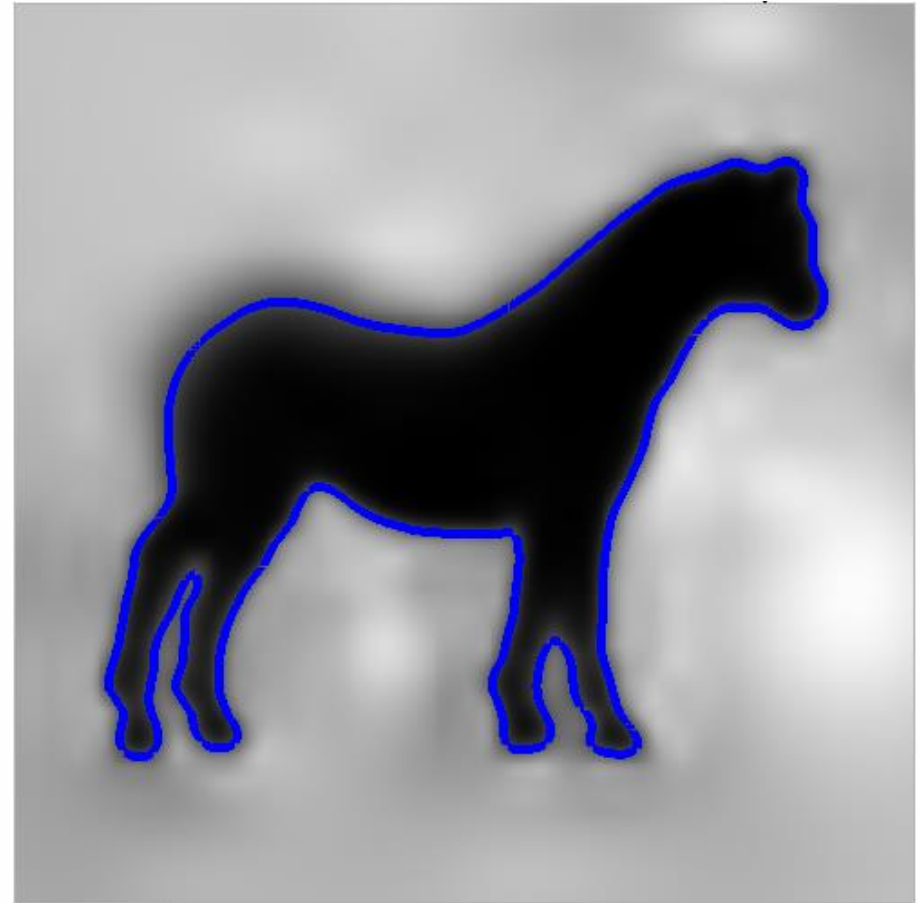
- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
 - Calculer la divergence
 - Résoudre l'équation de Poisson
- Extraire l'isosurface



Implémentation: extraction de la surface

En partant des échantillons:

- Calculer l'octree
- Calculer le champs de vecteur
- Calculer la fonction indicatrice
- Extraire l'isosurface

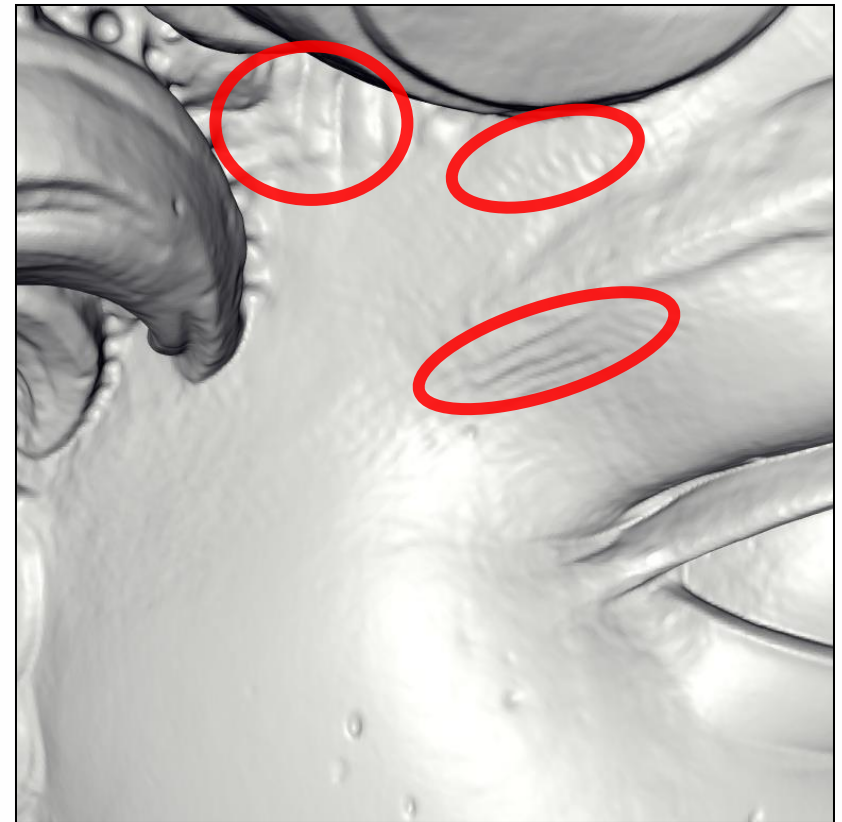


Résultat : David de Michelangelo



- 215 millions de points provenant de 1000 scans
- 22 millions de triangles après la reconstruction

David – coups de burin



Reconstruction de Poisson

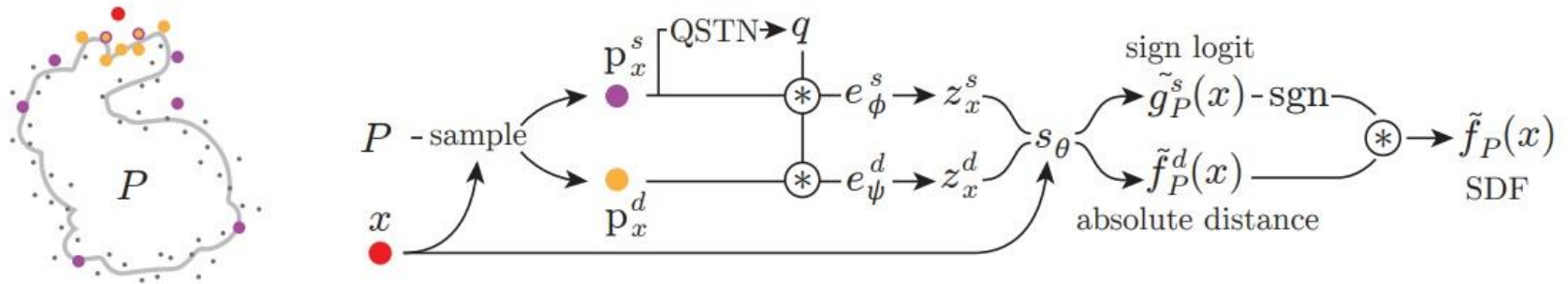
- **Avantages :**
 - Robuste au bruit
 - S'adapte à la densité d'échantillonnage (méthode globale)
- **Inconvénients :**
 - Nécessite normales et orientations
 - Création d'artefacts dans des zones sans données -> surface trimming

Plan du cours

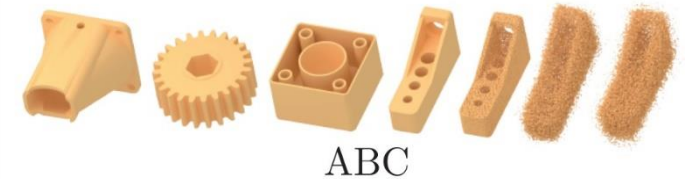
- I. Introduction / Problématique
- II. Rendu de nuages de points
- III. Reconstruction de surfaces**
 - I. Problématique / Contraintes
 - II. Représentations d'une surface
 - III. Méthode Locale : IMLS
 - IV. Méthode Globale : PoissonRecon
 - V. Méthode Deep : Points2Surf**

Points2Surf

[Learning Implicit Surfaces from Point Clouds, 2020]

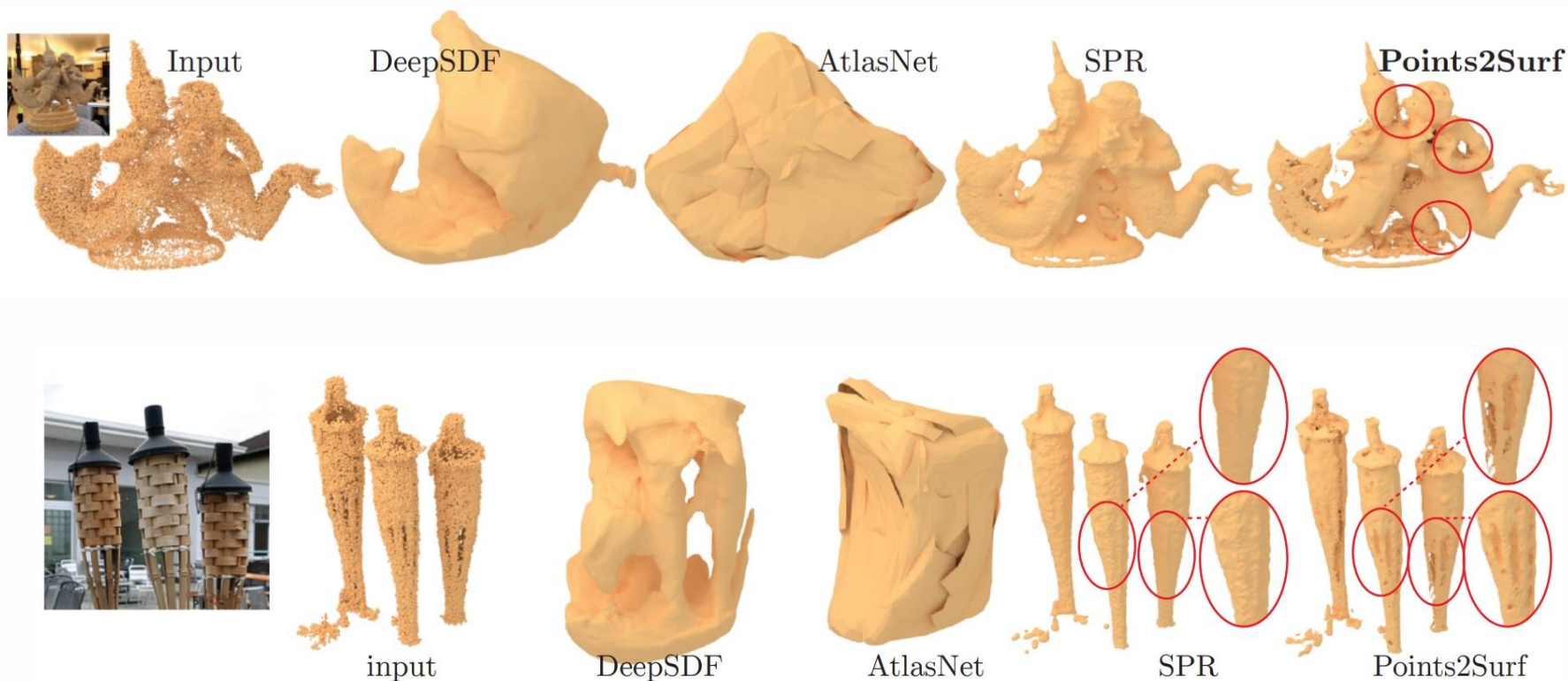


- Méthode Deep :
 - Training set : ABC dataset
- Avantage :
 - Capable de généraliser
- Inconvénient :
 - Méthode très lente (X5 SPR)



Points2Surf

[Learning Implicit Surfaces from Point Clouds, 2020]



FIN

- I. Introduction / Problématique
- II. Rendu de nuages de points
- III. Reconstruction de surfaces