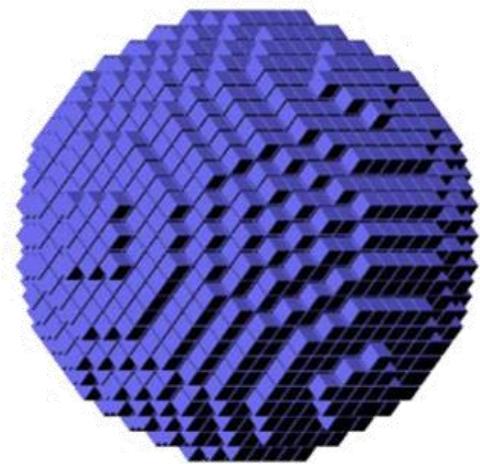
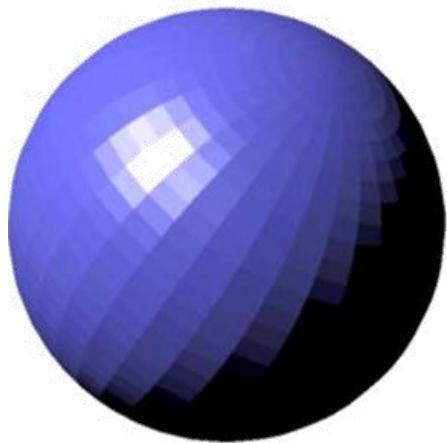


Modélisation et Programmation 3D

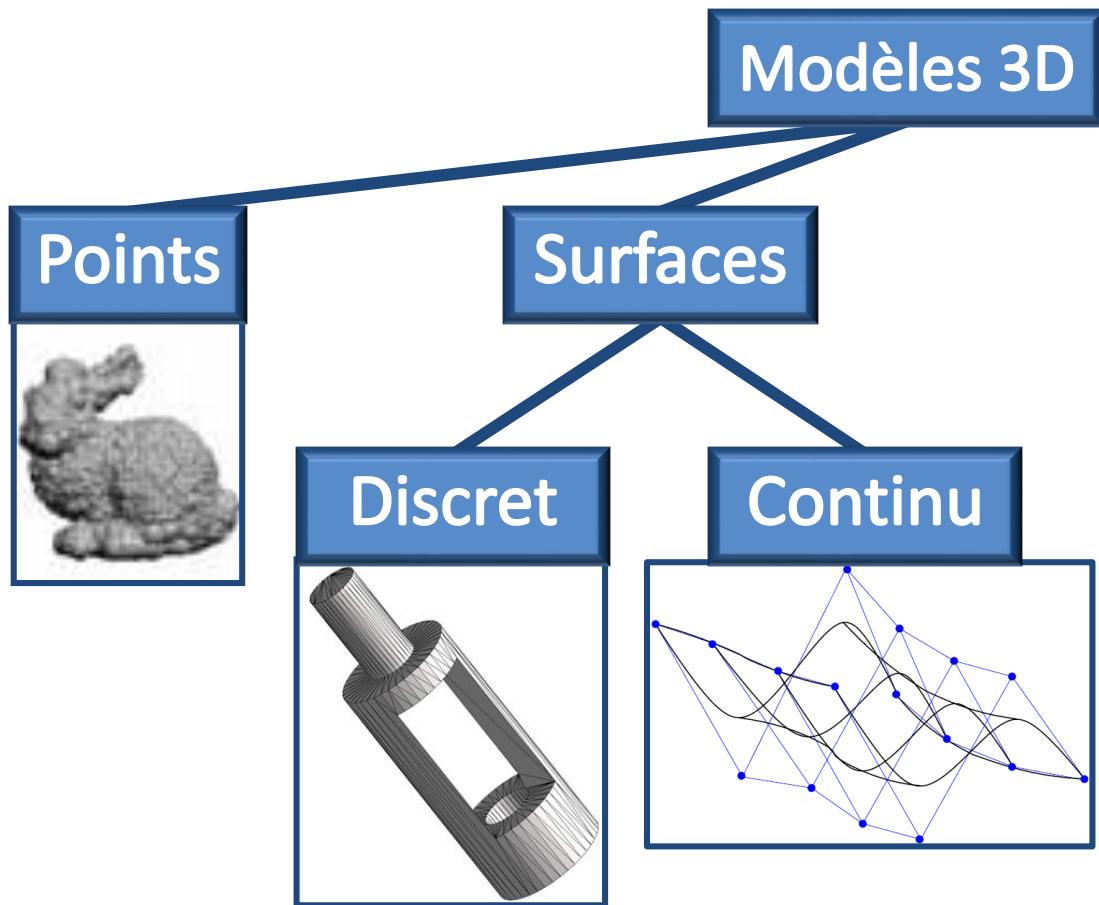
# Modèles volumiques



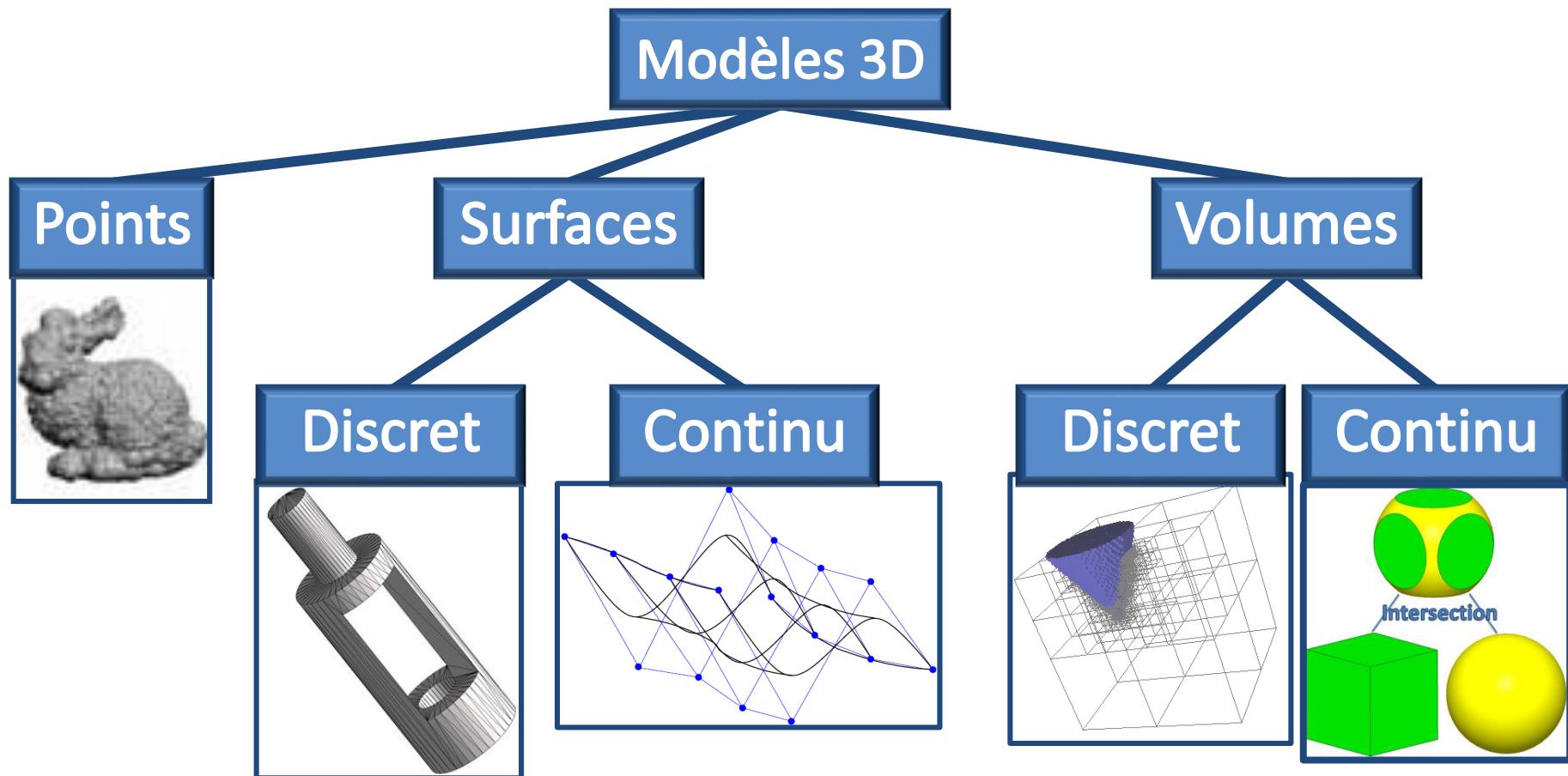
# Plan

- Introduction
- Octree
- Surfaces implicites
- Composition arborescente de solides
- Passage du volumique au surfacique

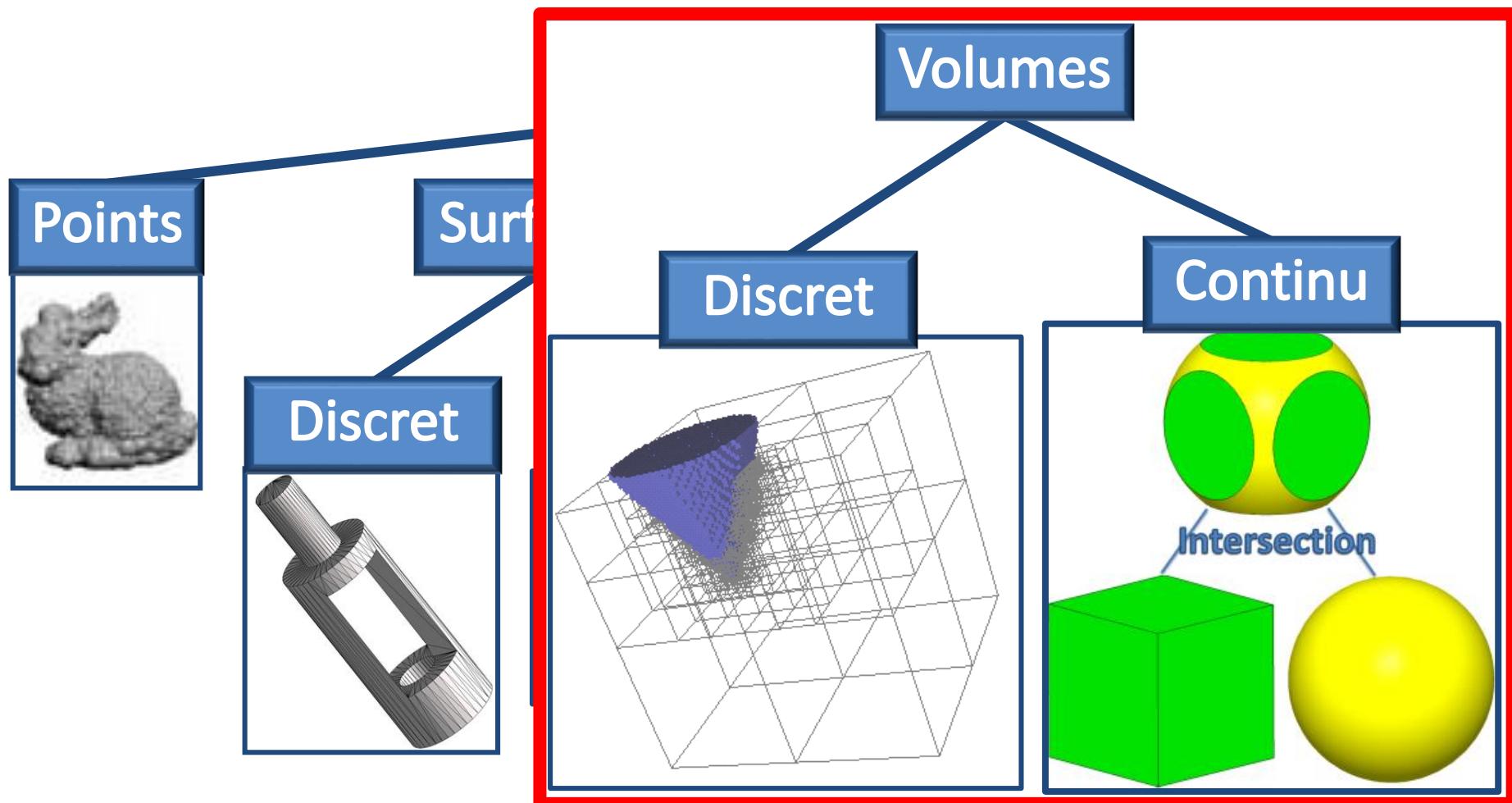
# Représentations 3D



# Représentations 3D



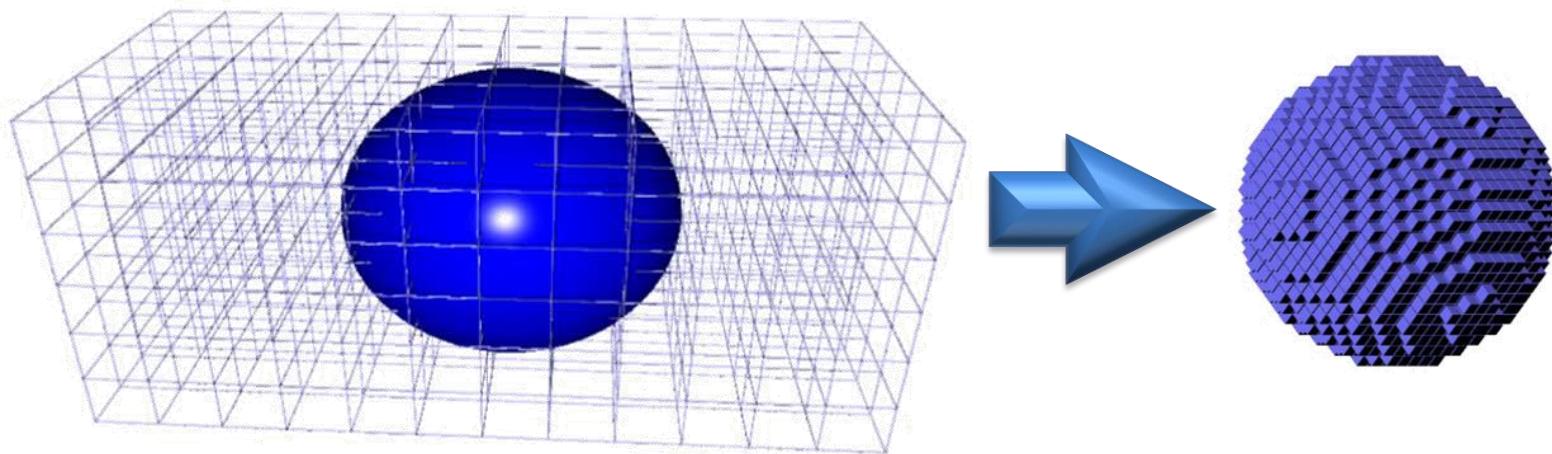
# Représentations 3D



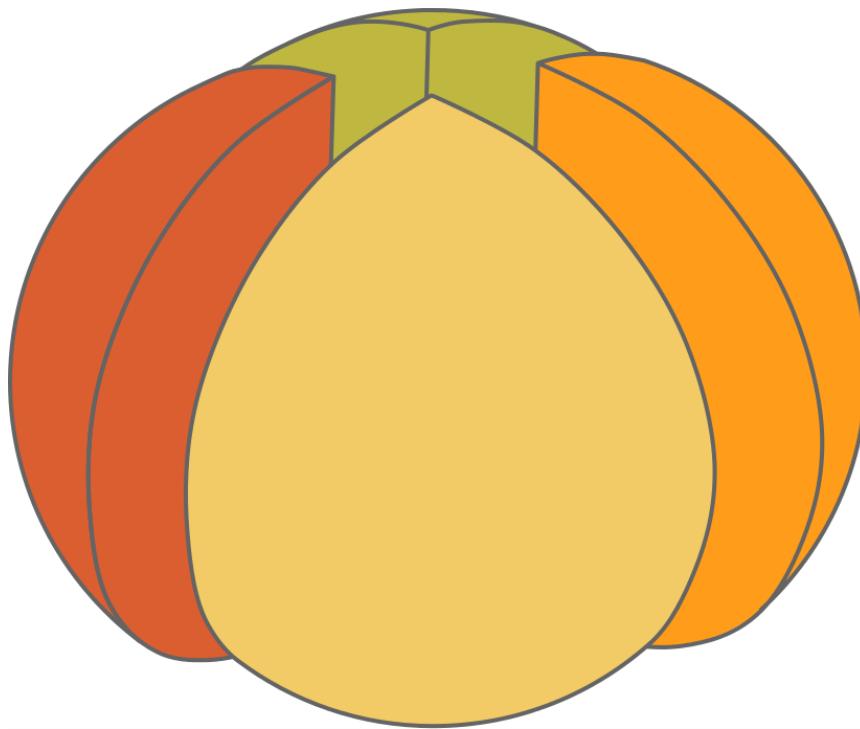
# Modèles volumiques

- Volumes discrets
  - voxel (élément de grille 3D)

Principe : présence ou absence de matière



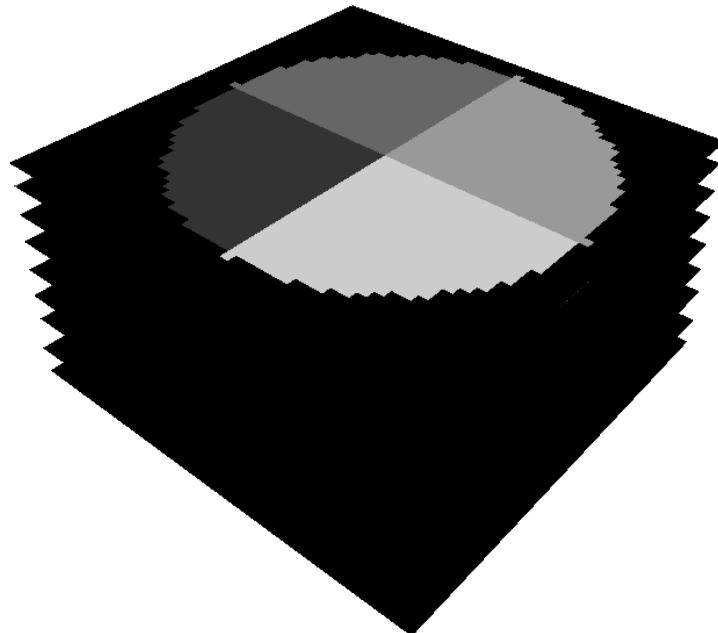
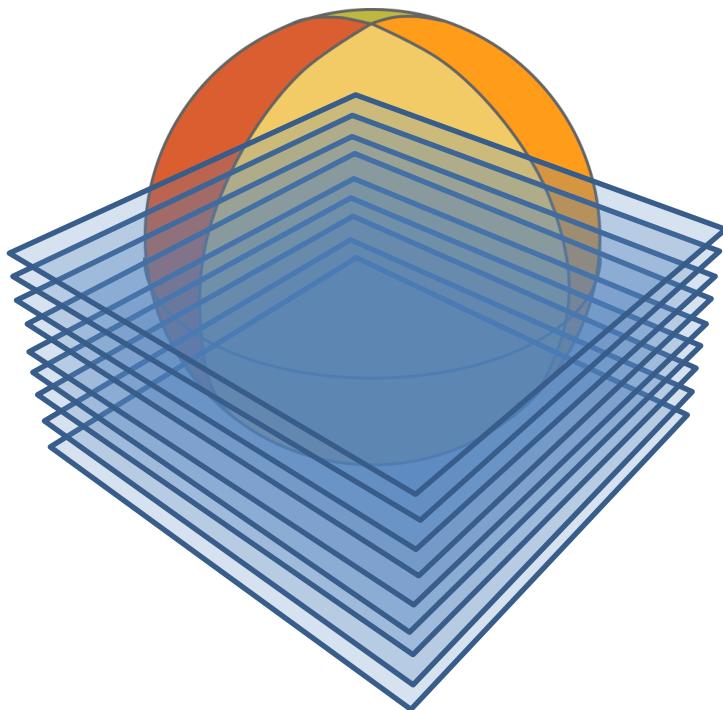
# Objets 3D



Multimédia

# Modèles numérique

Acquisition

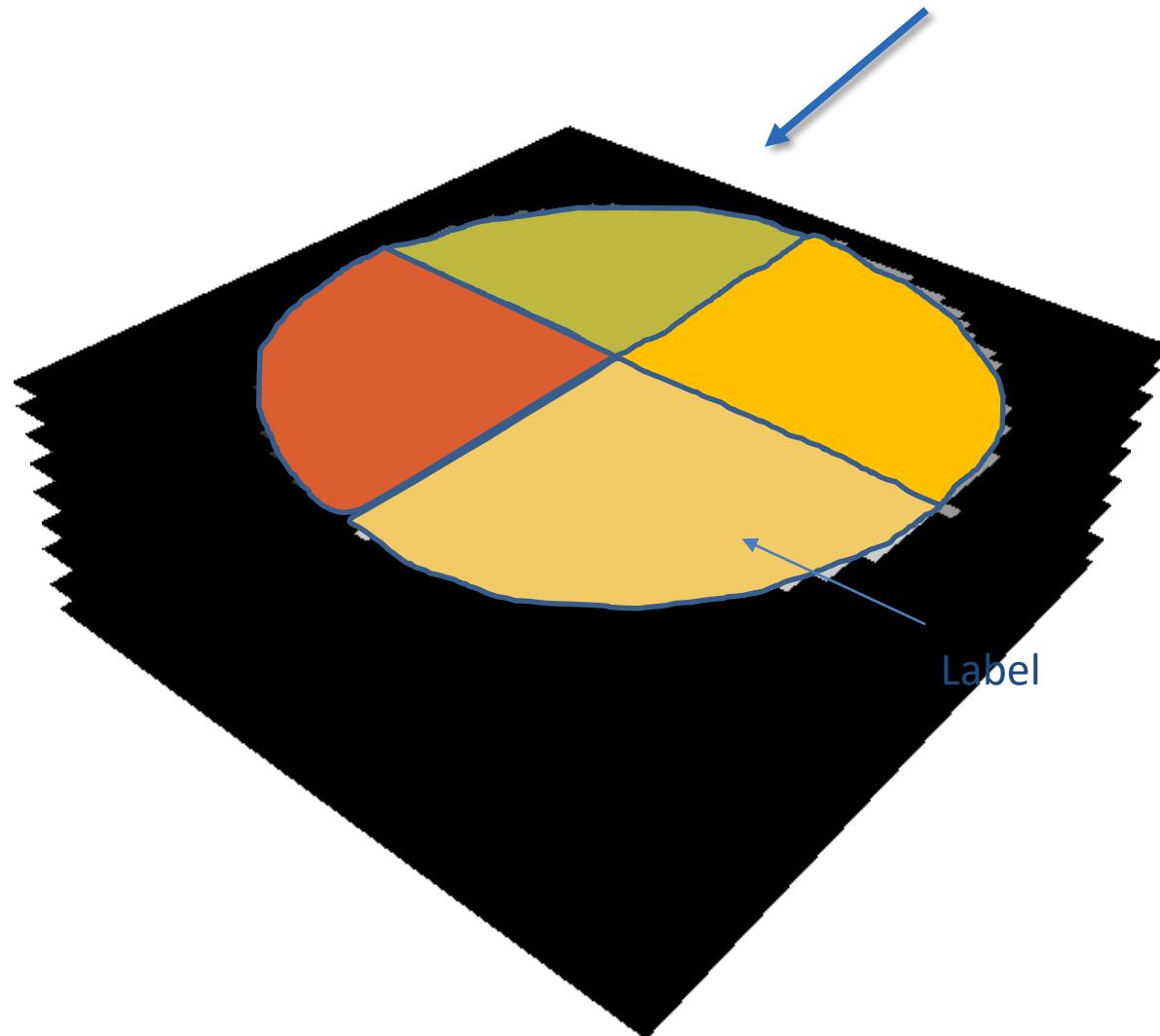


MRI or CT scanners

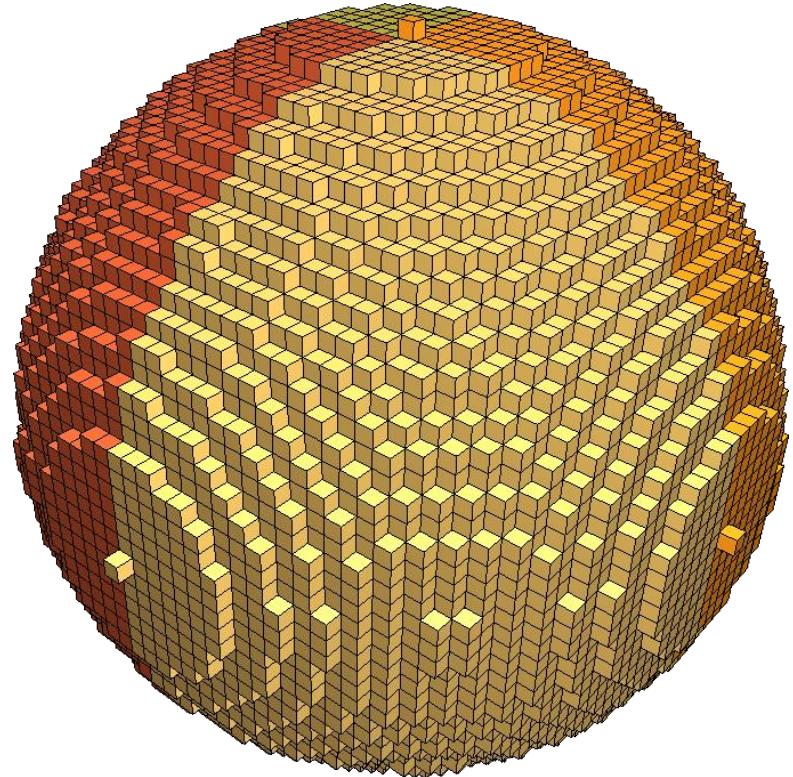
# Modèles numériques

Image 3D

Segmentation



# Volumes 3D

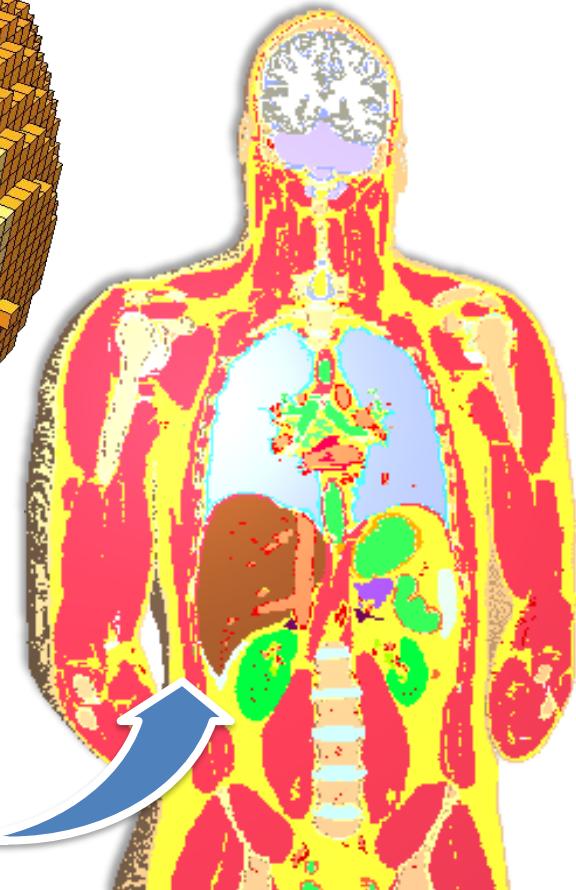
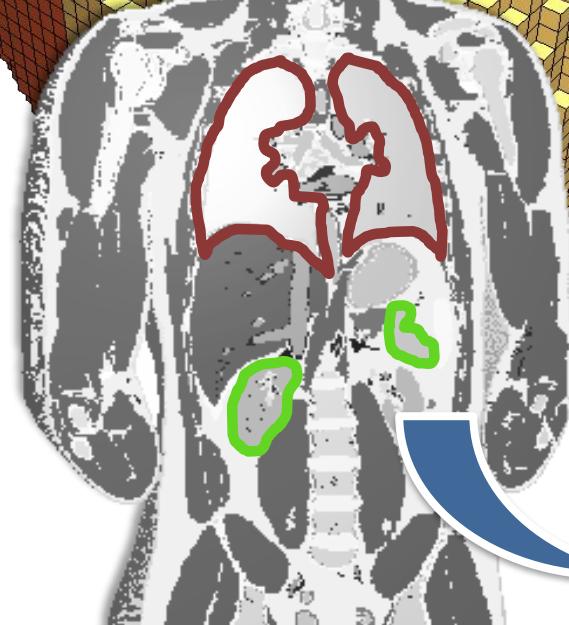
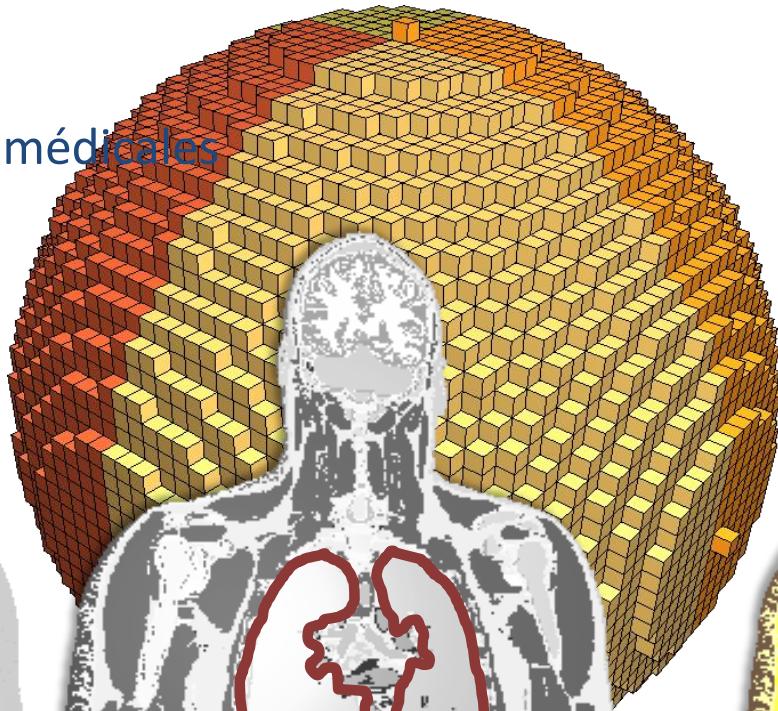


Grille de voxels labélisée

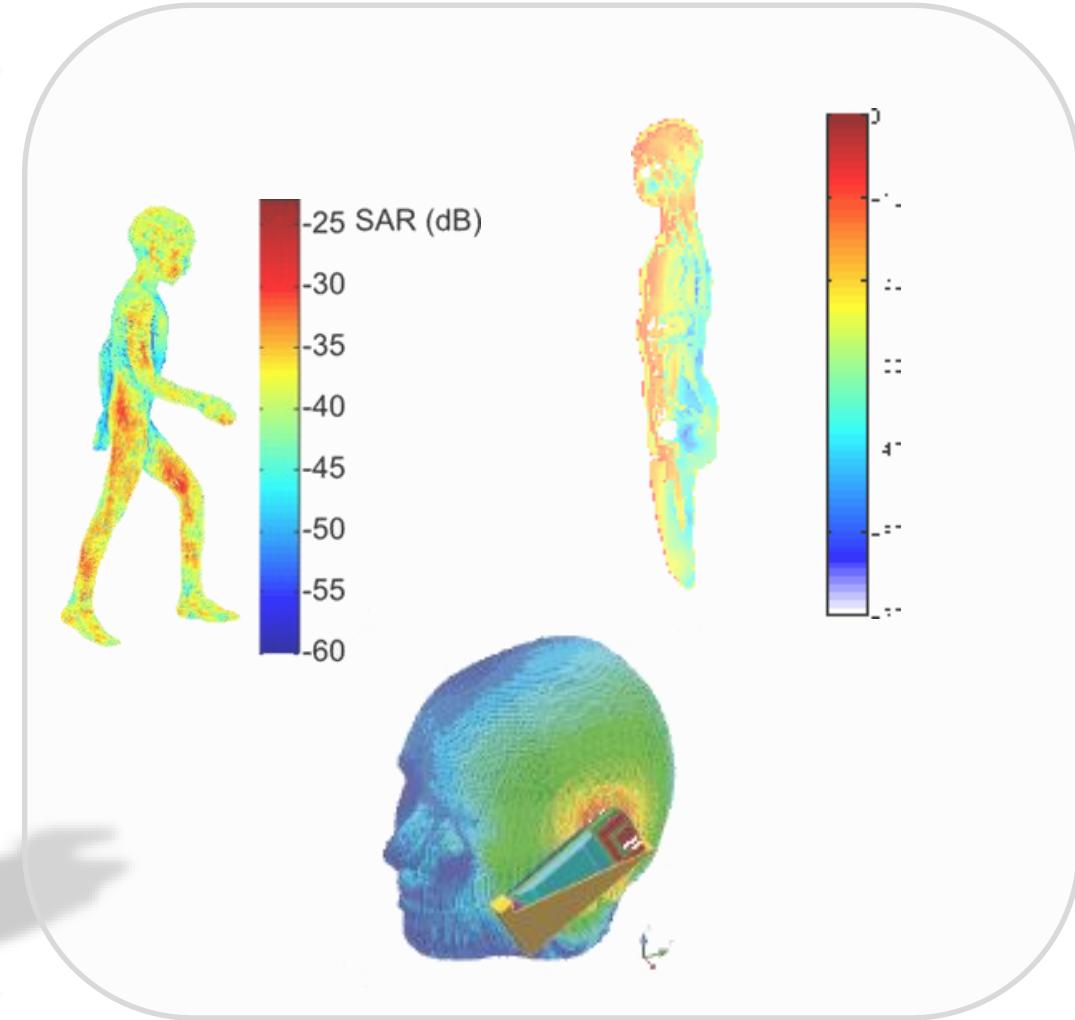
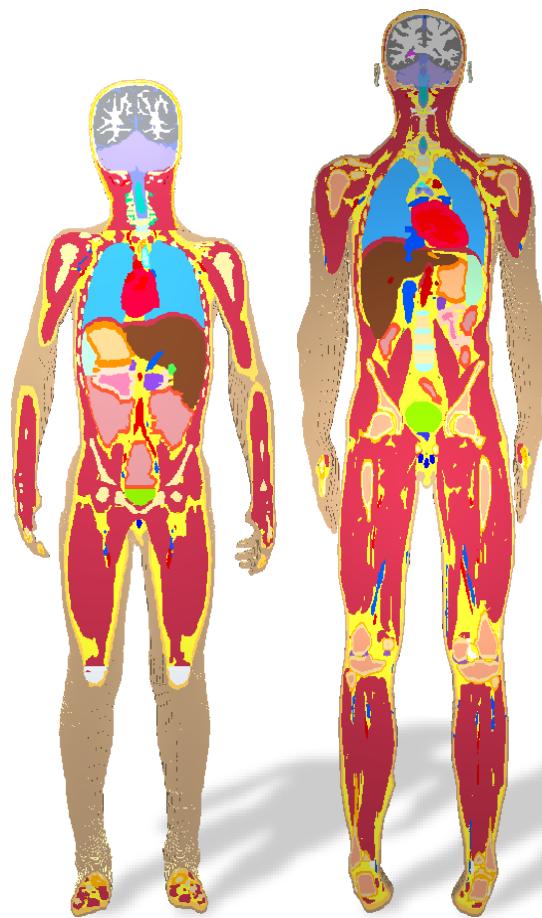
# Volumes 3D

Images médicales

374 millions voxels

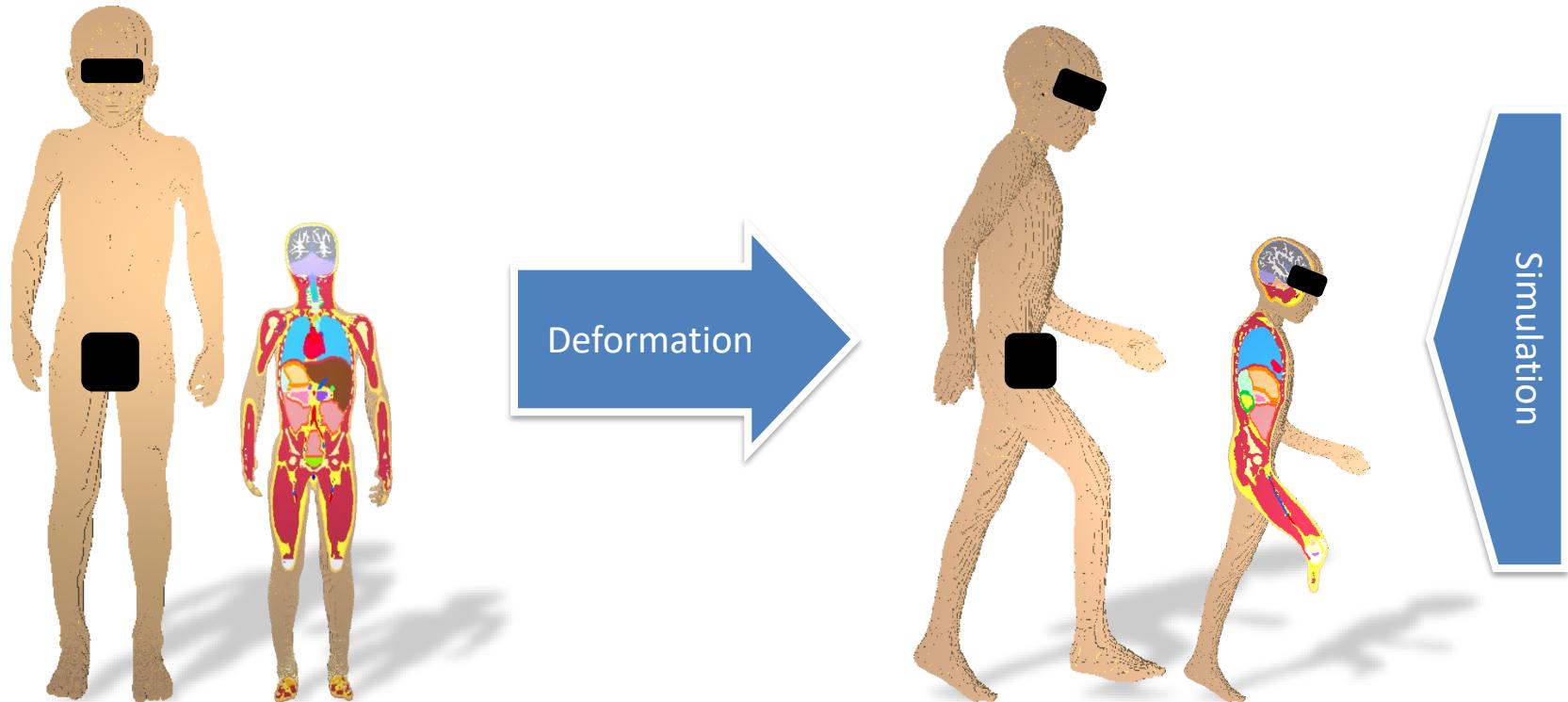


# Simulations médicales

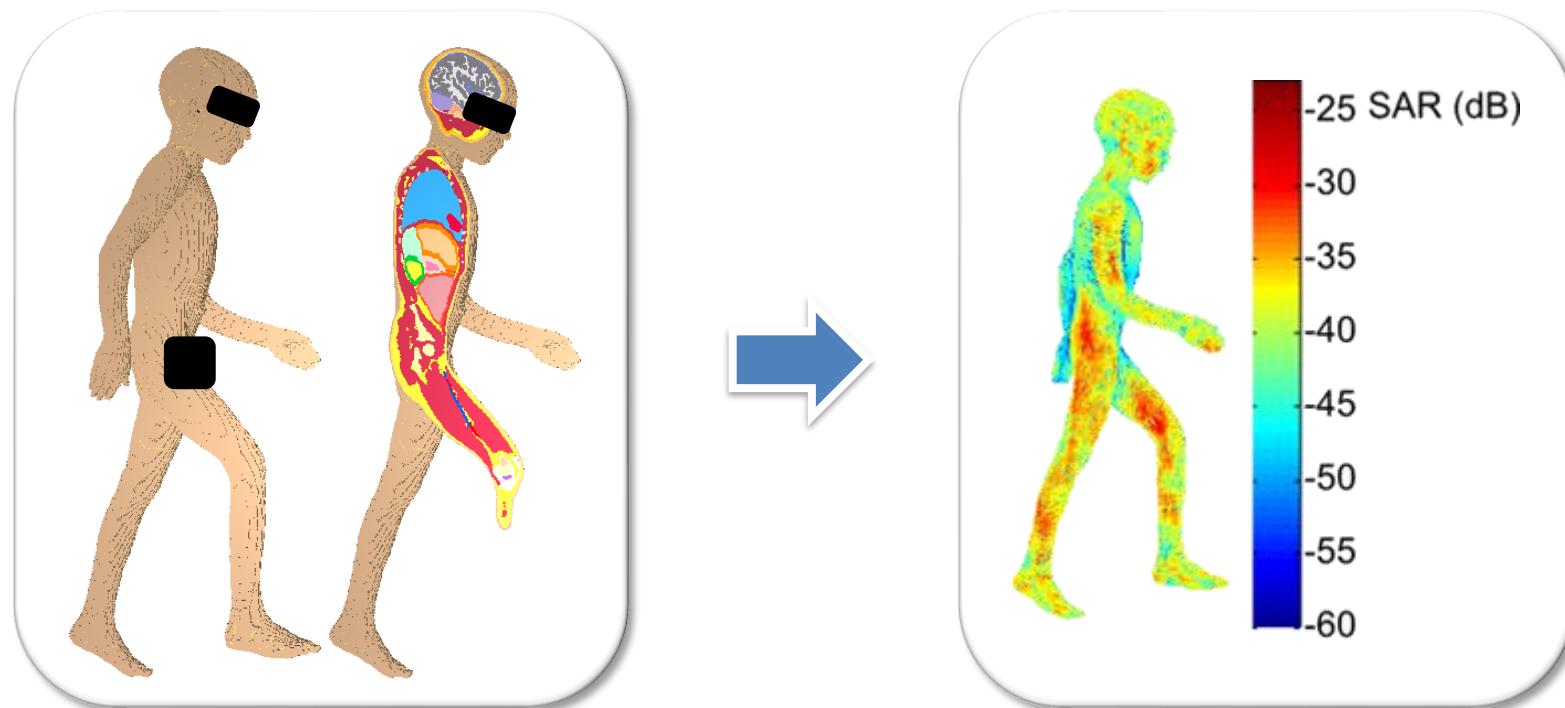


Analyse de dosimétrie

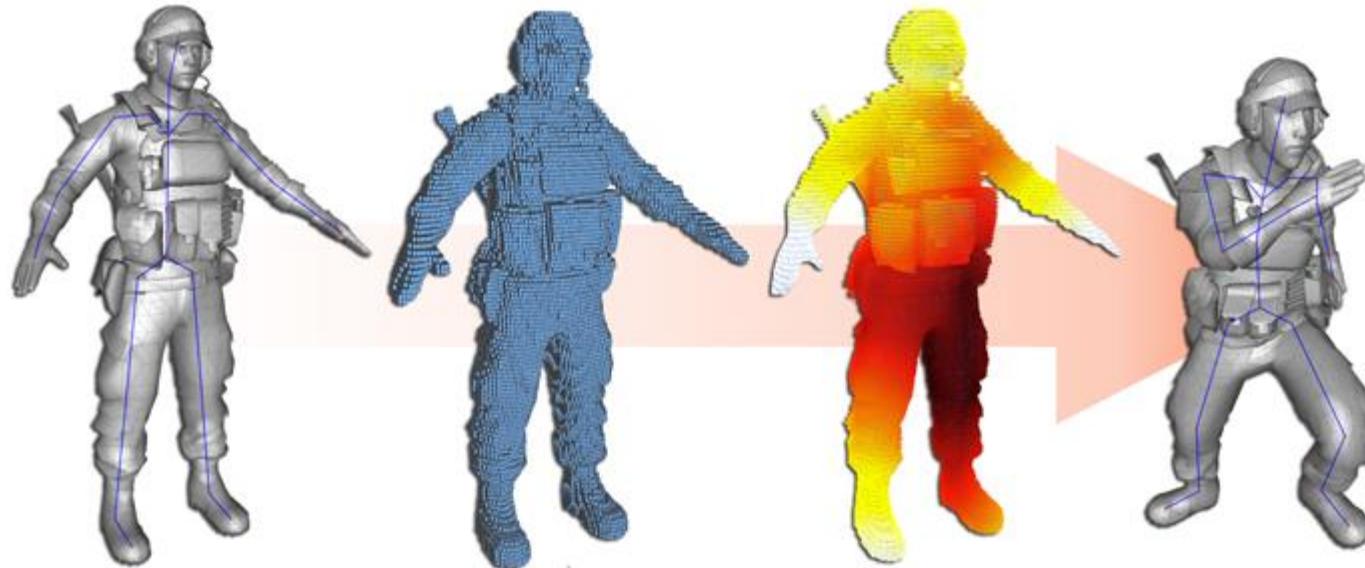
# Exemple d'application



# Exemple d'application



# Calcul de points de déformation



Autodesk

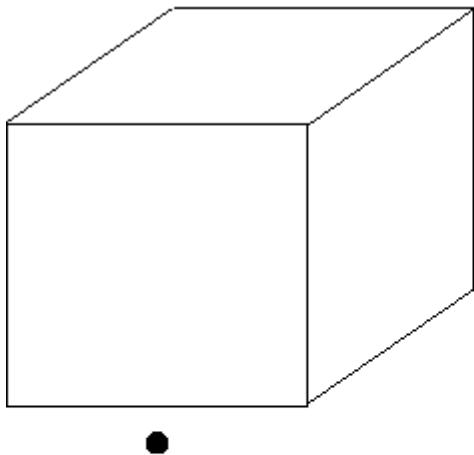
<https://vimeo.com/69268846>

# Plan

- Introduction
- Octree
- Surfaces implicites
- Composition arborescente de solides
- Passage du volumique au surfacique

# Octree régulier

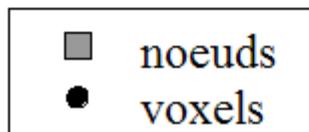
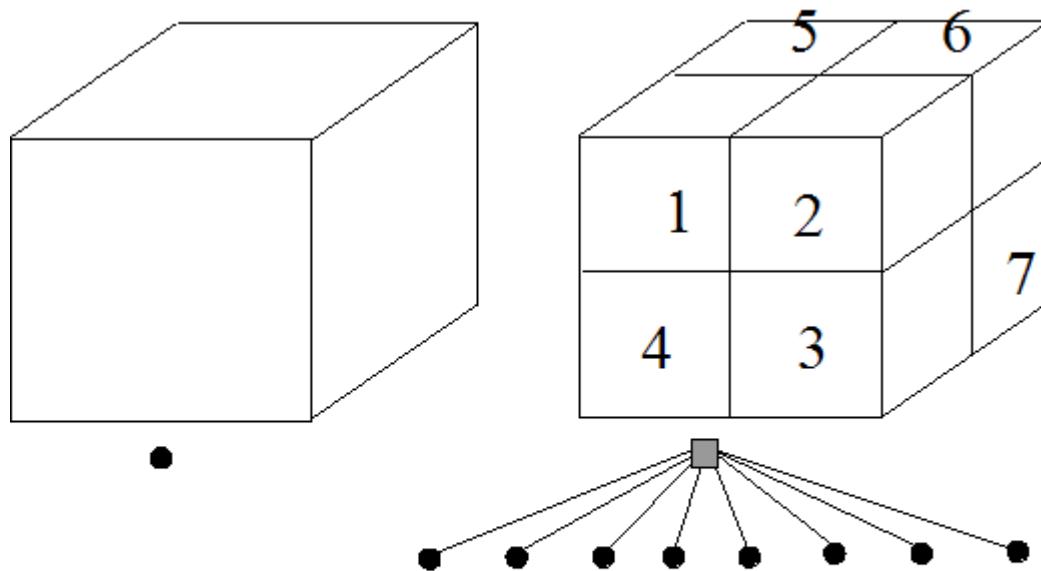
Subdivision récursive d'un volume cubique



- noeuds
- voxels

# Octree régulier

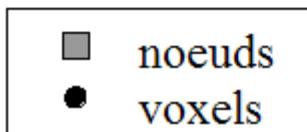
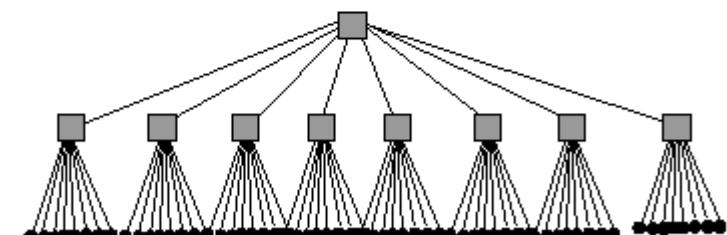
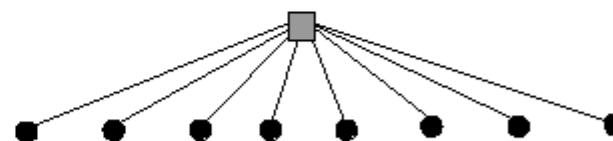
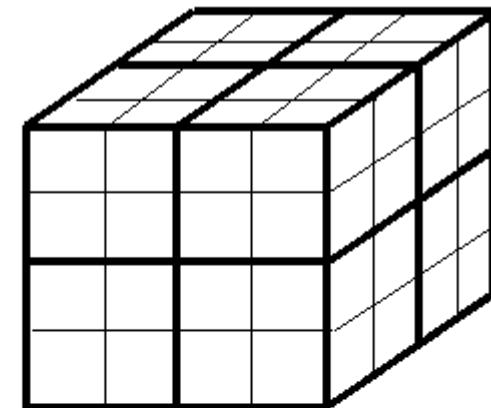
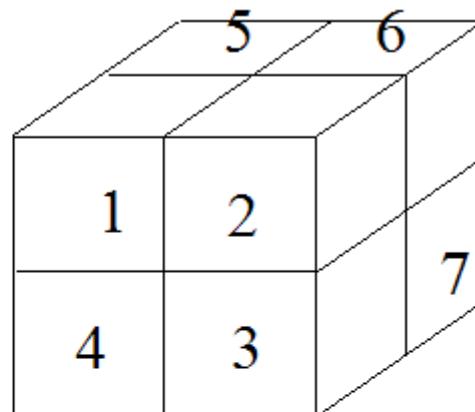
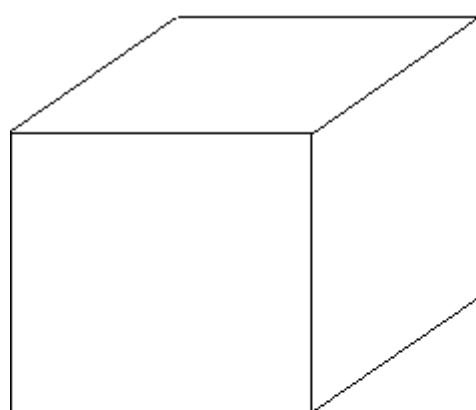
Subdivision récursive d'un volume cubique en 8 sous-cubes de tailles égales



# Octree régulier

Subdivision récursive d'un volume cubique en 8 sous-cubes de tailles égales

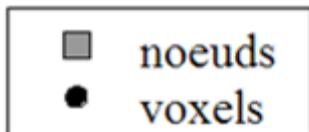
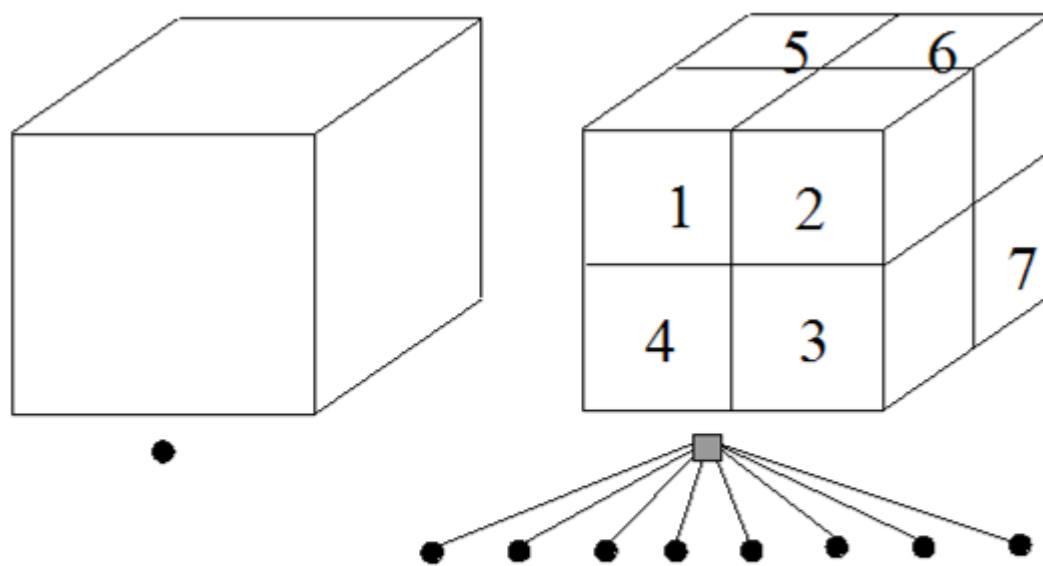
→ les feuilles de l'octree sont des **voxels**



# Octree adaptatif

La profondeur de chaque branche peut être de taille différente

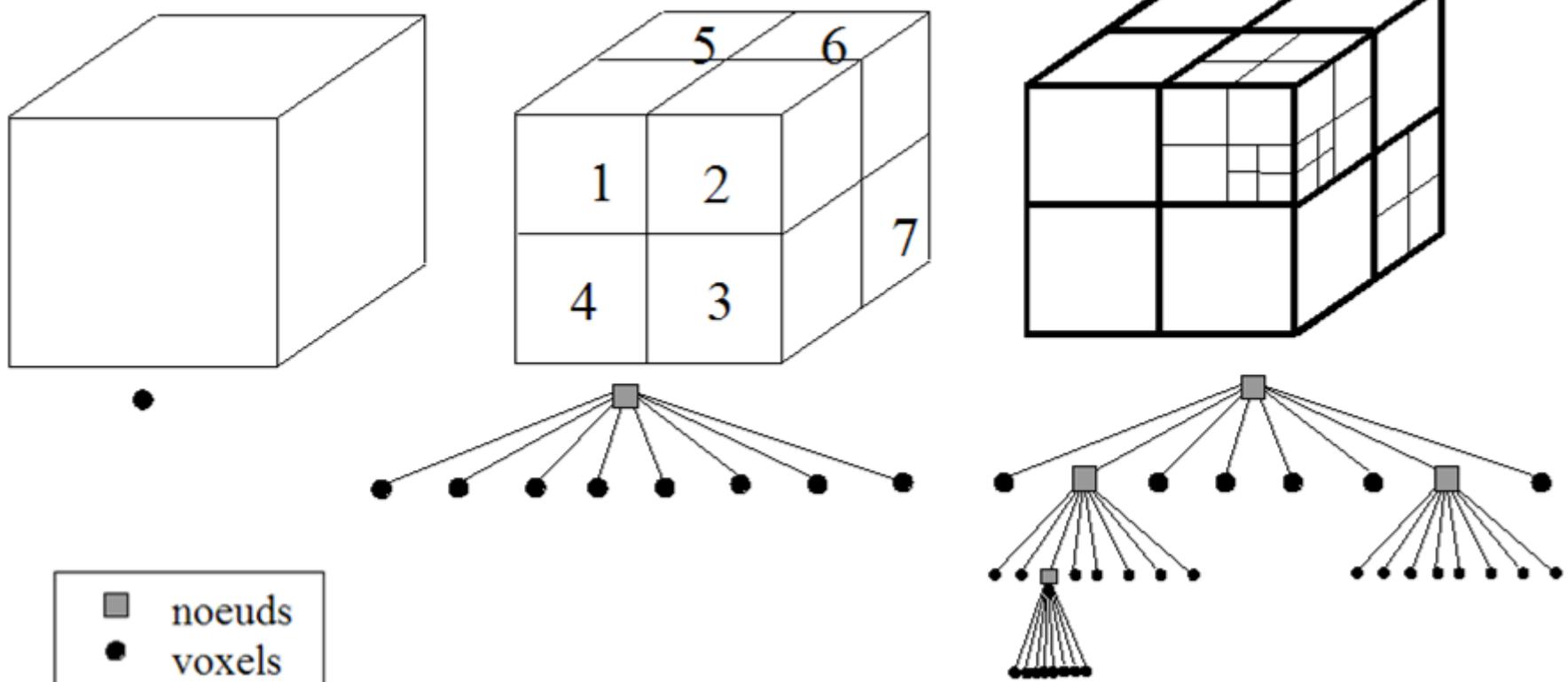
→ permet de subdiviser l'espace initial irrégulièrement



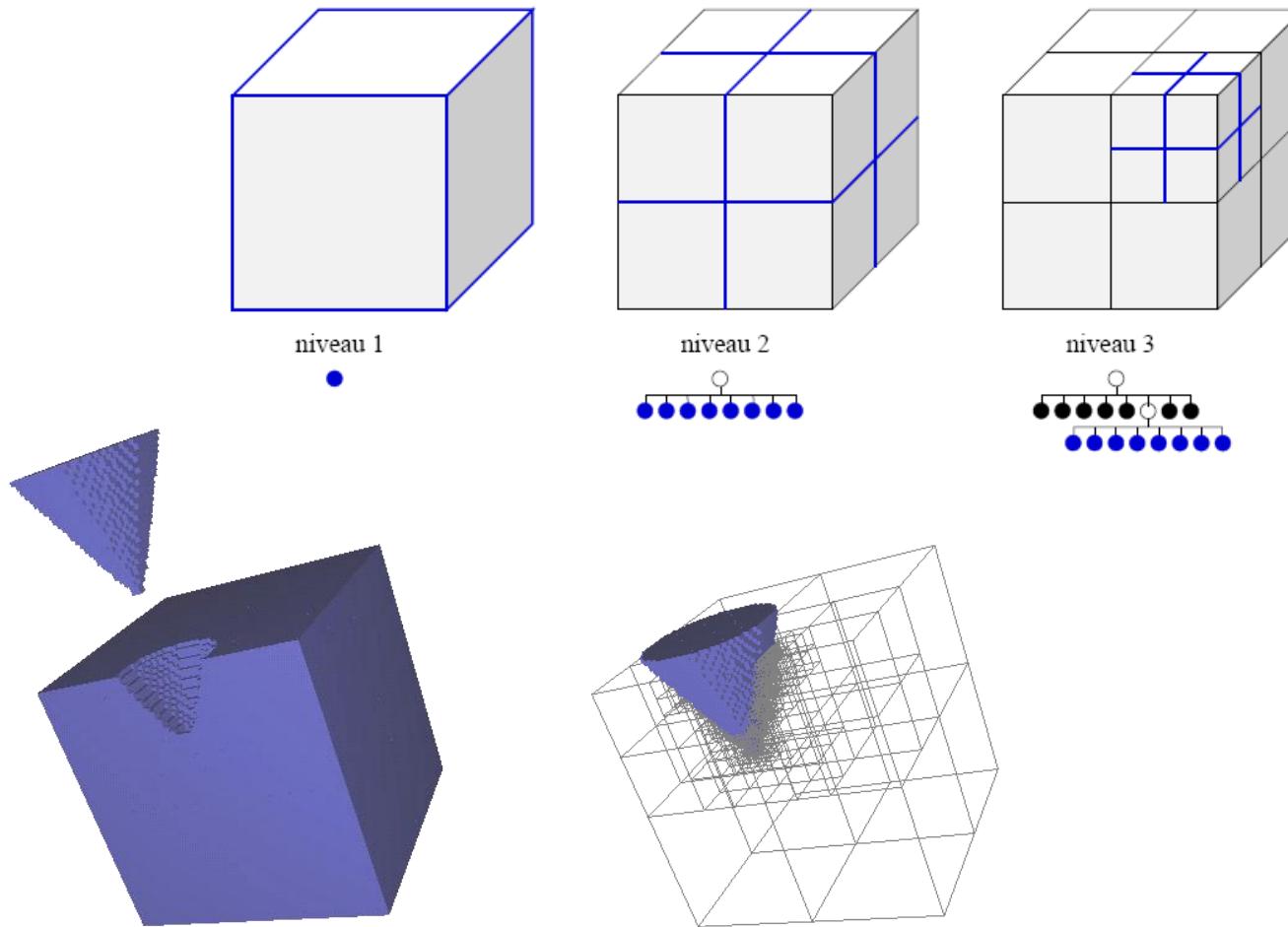
# Octree adaptatif

La profondeur de chaque branche peut être de taille différente

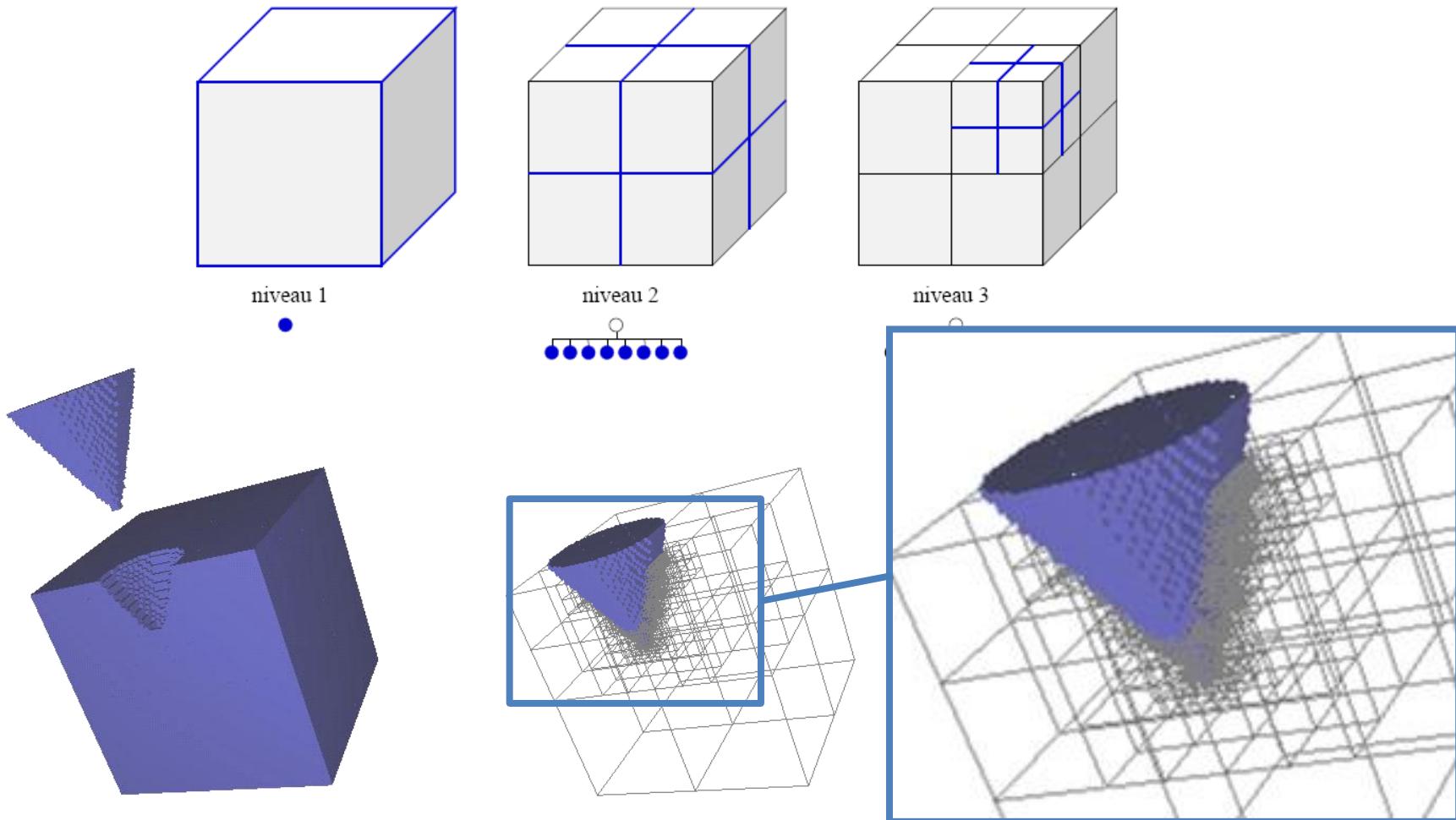
→ permet de subdiviser l'espace initial irrégulièrement



# Octree adaptatif

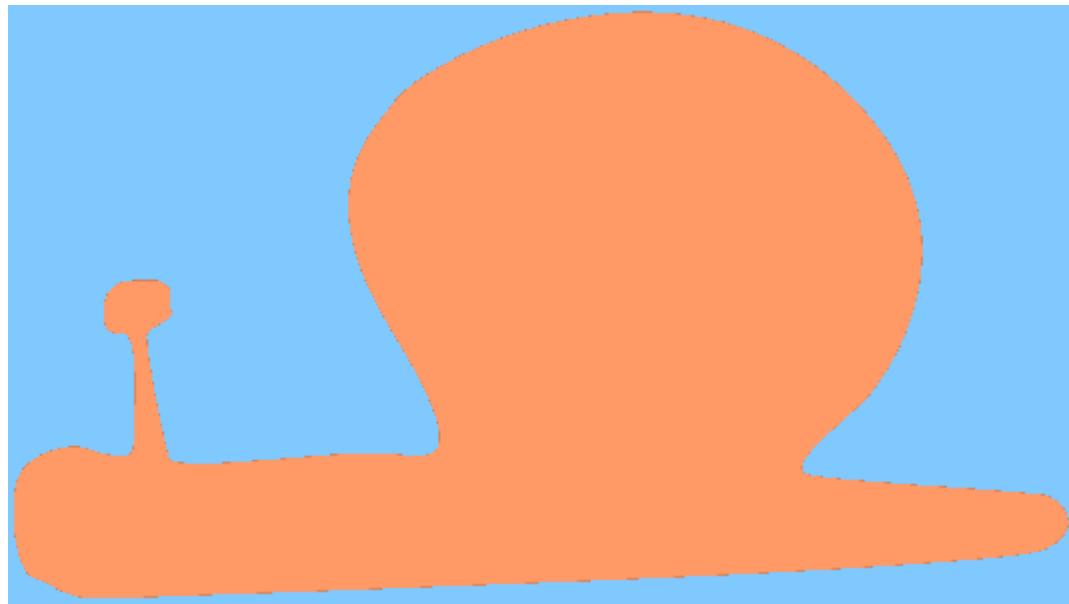


# Octree adaptatif



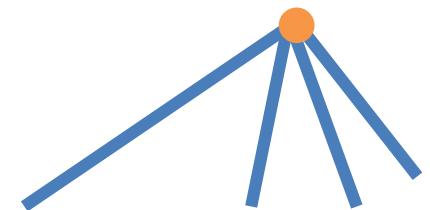
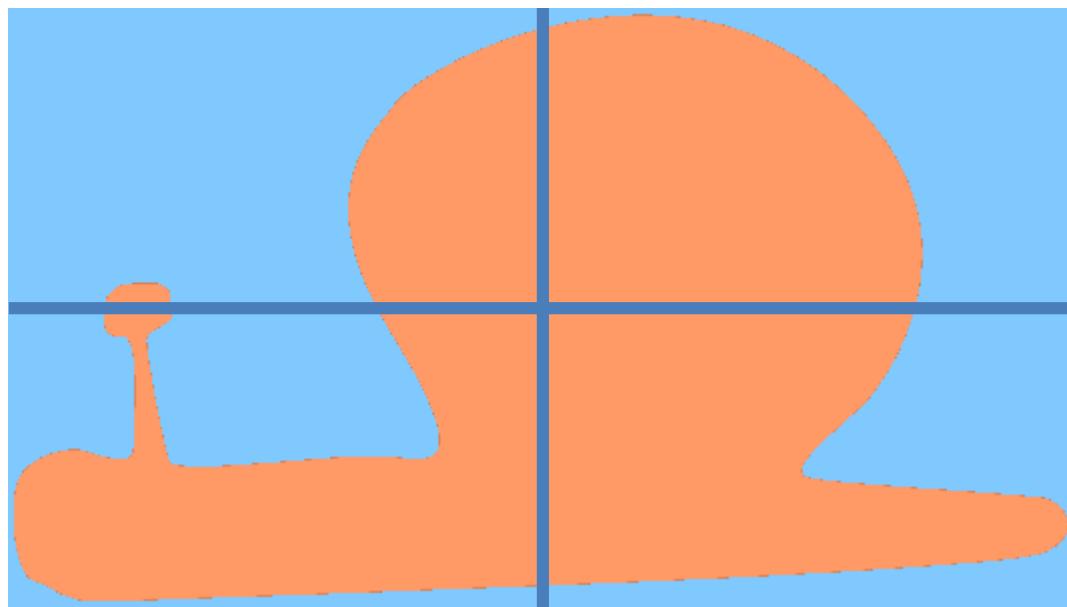
# Octree adaptatif

exemple 2D



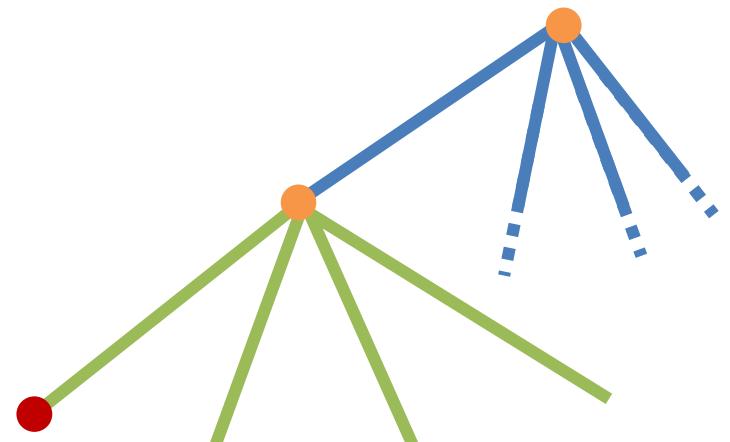
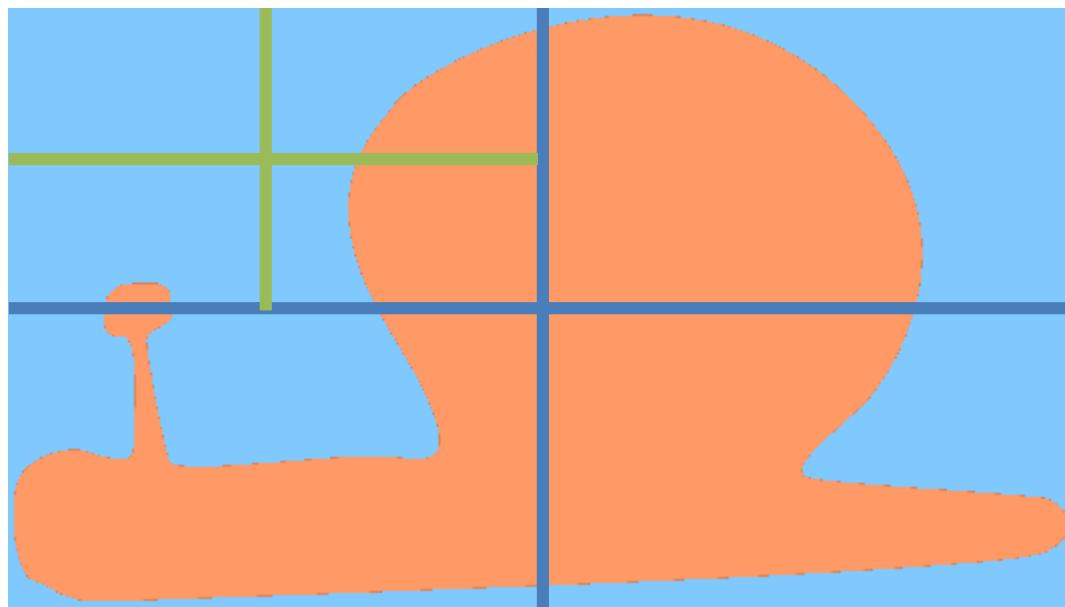
# Octree adaptatif

exemple 2D



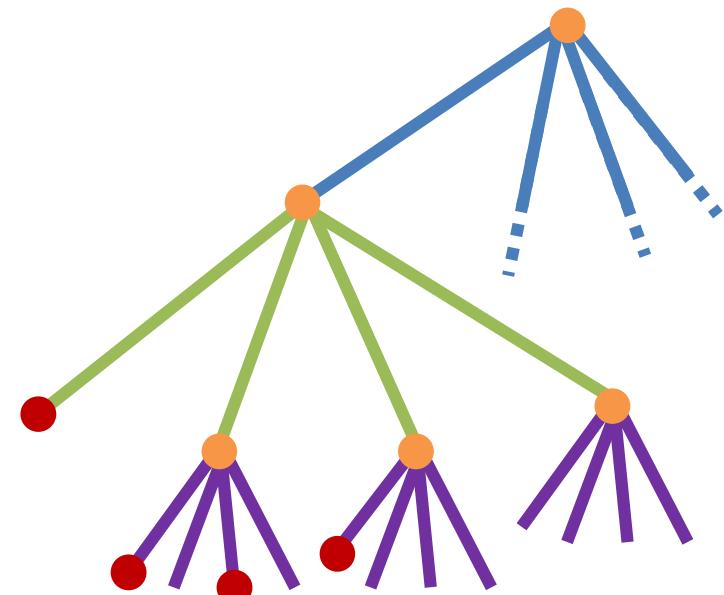
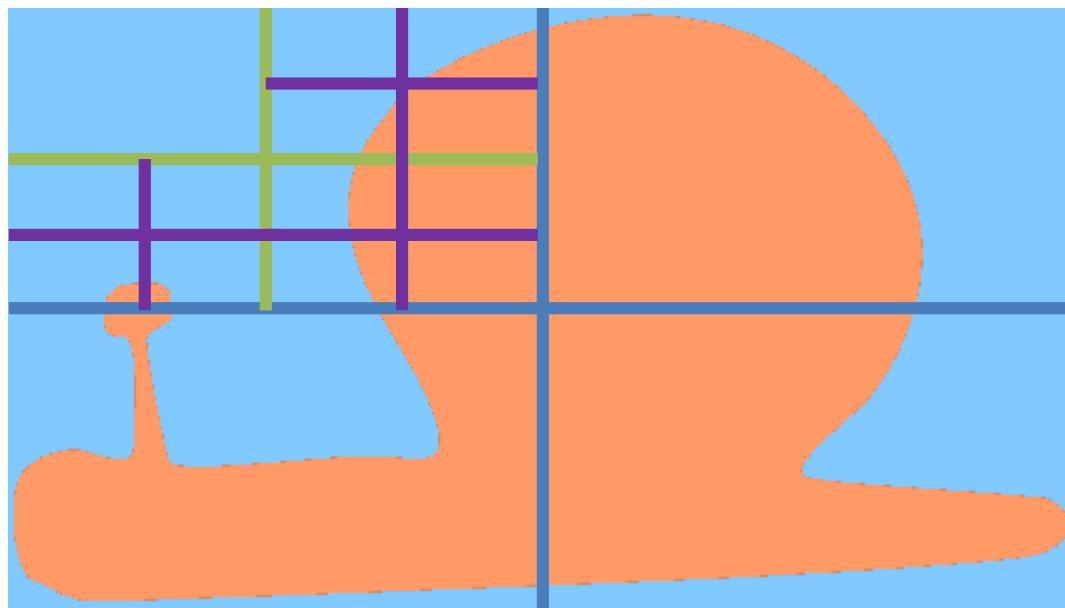
# Octree adaptatif

exemple 2D



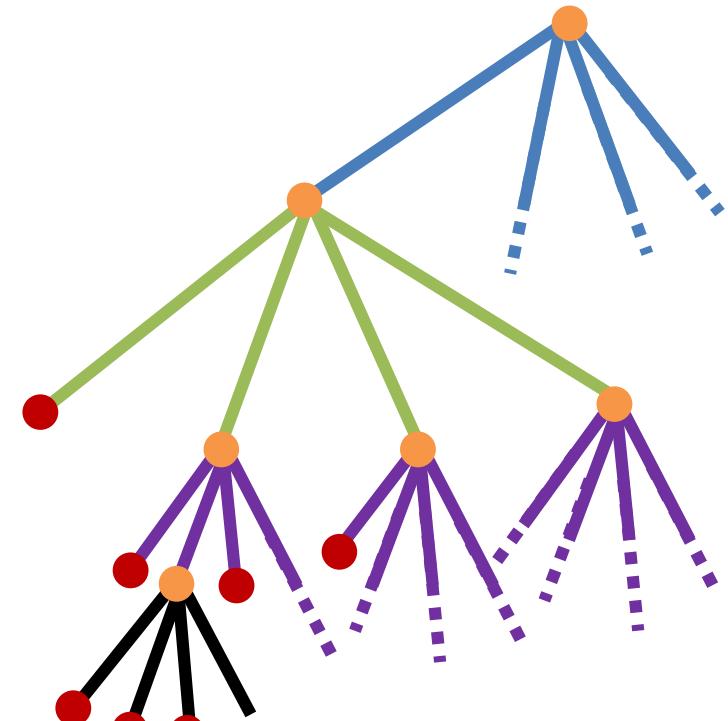
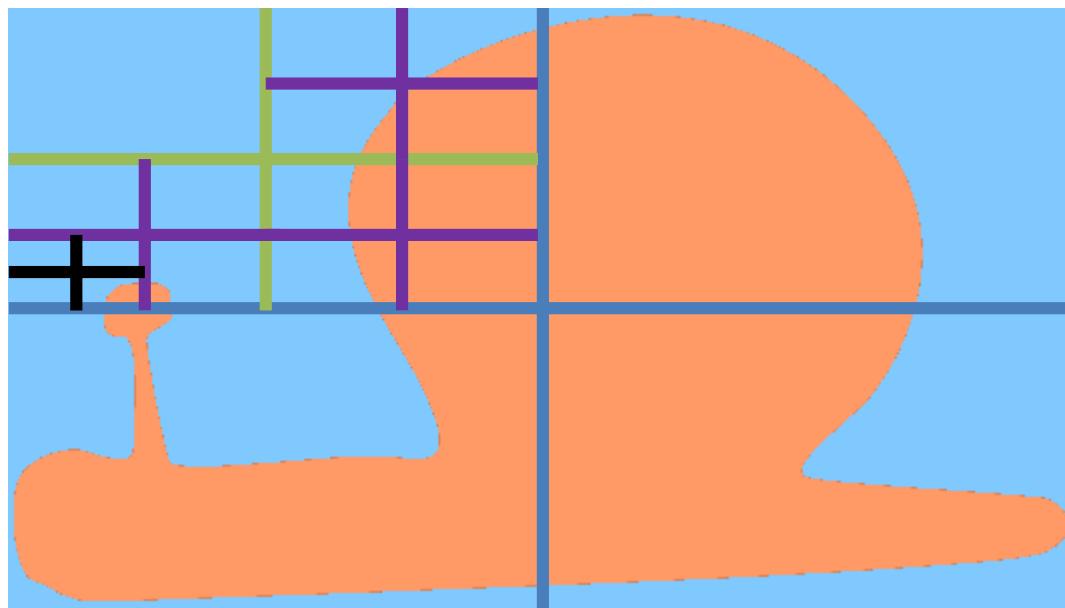
# Octree adaptatif

exemple 2D



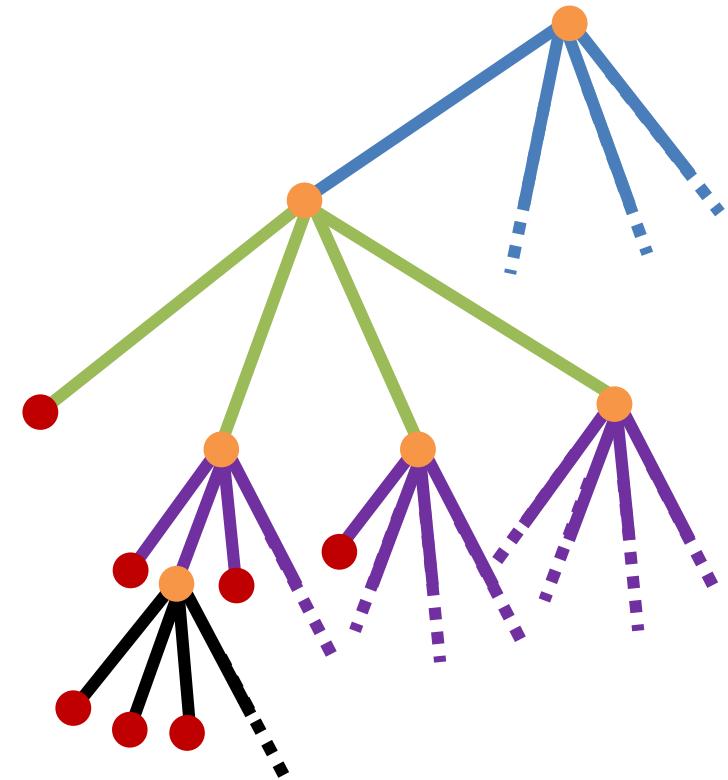
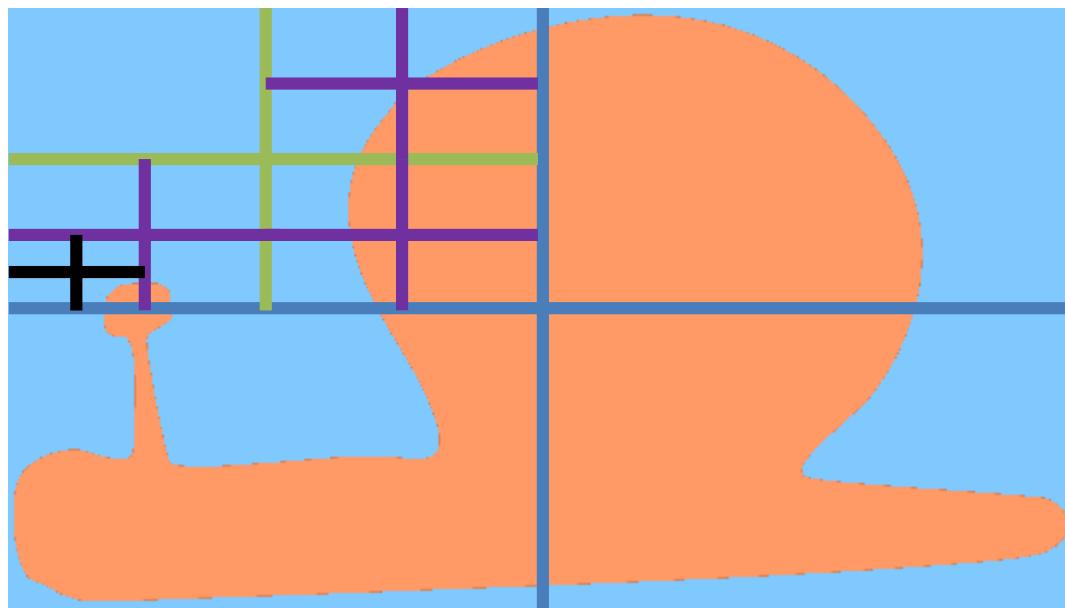
# Octree adaptatif

exemple 2D



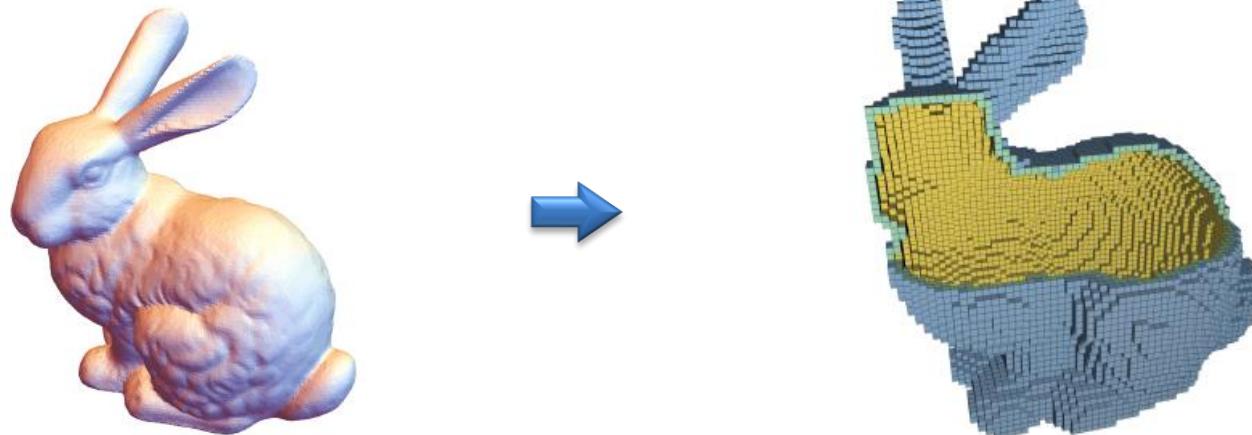
# Octree adaptatif

exemple 2D



# Représentation surfacique

- Octree régulier : on subdivise jusqu'à la précision
  - si la cellule intersecte la surface → 1
  - si la cellule n'intersecte pas la surface → 0
  - on ne garde que les voxels égaux à 1

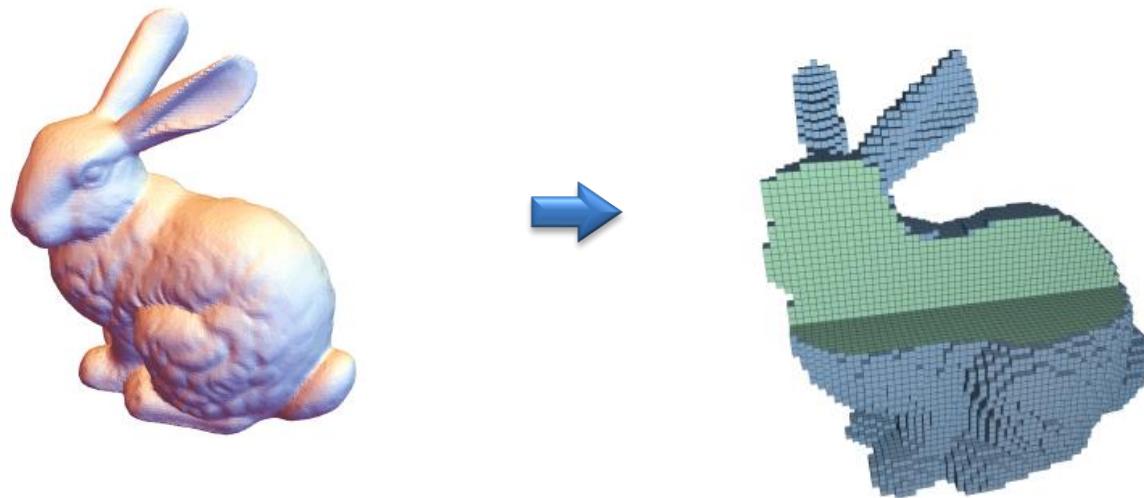


# Représentation surfacique

- Octree régulier : on subdivise jusqu'à la précision
  - si la cellule intersecte la surface → 1
  - si la cellule n'intersecte pas la surface → 0
  - on ne garde que les voxels égaux à 1
- octree adaptatif :
  - soit la cellule n'intersecte pas → 0
  - soit la cellule intersecte :
    - si bon niveau de précision → 1
    - sinon la cellule sera subdivisée récursivement

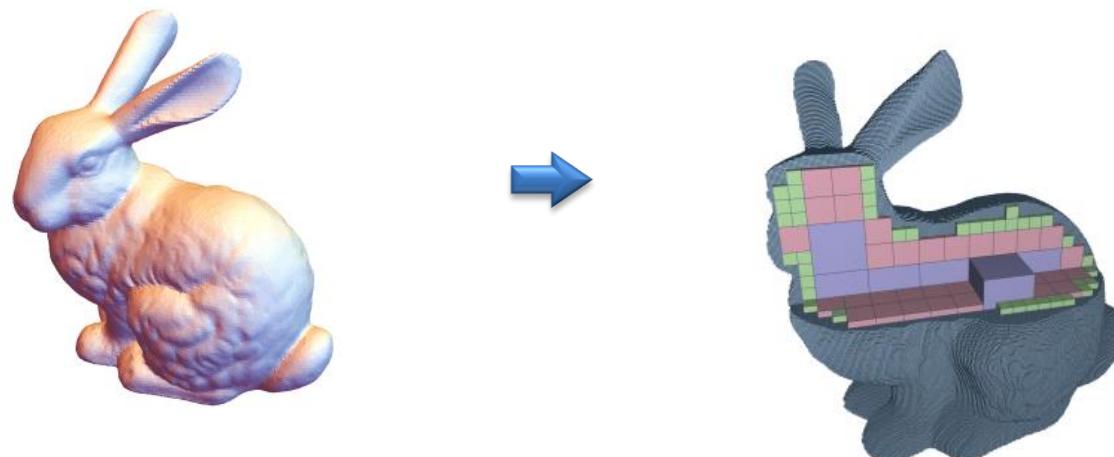
# Représentation volumique

- octree régulier : on subdivise jusqu'à la précision
  - si la cellule intersecte la surface → 0
  - si la cellule est à l'intérieur → 1
  - si la cellule n'est pas à l'intérieur → -1
  - on ne garde que les voxels égaux à 1 ou 0



# Représentation volumique

- octree adaptatif :
  - soit la cellule n'intersecte pas la surface :
    - si la cellule est à l'intérieur → 1
    - si la cellule n'est pas à l'intérieur → -1
  - soit la cellule intersecte la surface :
    - si bon niveau de précision → 0
    - sinon la cellule sera subdivisée récursivement



# Octree +/-

- les +
  - facilité d'afficher à différentes résolutions
  - possibilité de représentation volumique
  - simplicité de construction et de parcours
  
- les - :
  - visualisation par voxel → ``pixélisé''
  - rendu temps réel pour des scènes complexes ??
  - taille mémoire importante

# Plan

- Introduction
- Octree
- **Surfaces implicites**
- Composition arborescente de solides
- Passage du volumique au surfacique

# Surfaces implicites

- Définition :
  - Points(x, y, z) tels que  $F_i(x,y,z) = \text{constante} \rightarrow \text{seuil}$

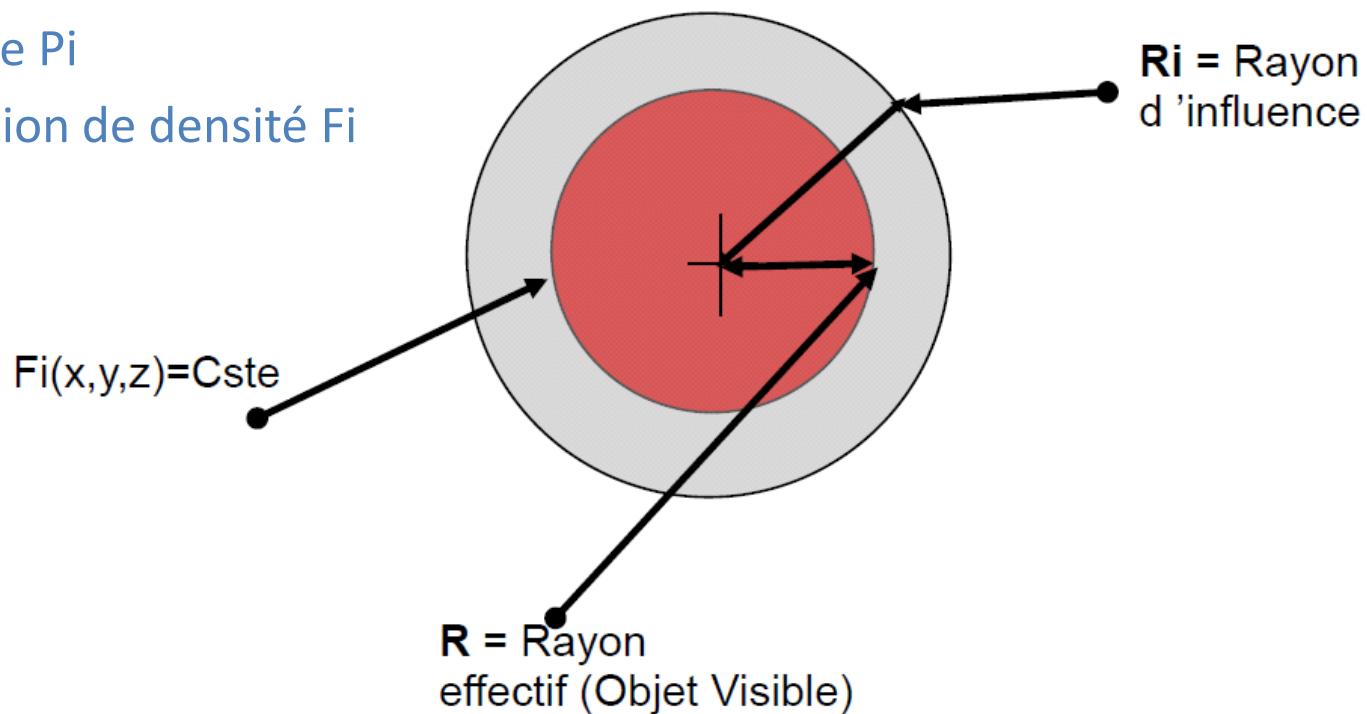
# Surfaces implicites

- **Définition :**

- Points(x, y, z) tels que  $F_i(x,y,z) = \text{constante}$  ➔ seuil  
➤ Objet implicite  $B_i$ 
  - Centre  $P_i$
  - Fonction de densité  $F_i$

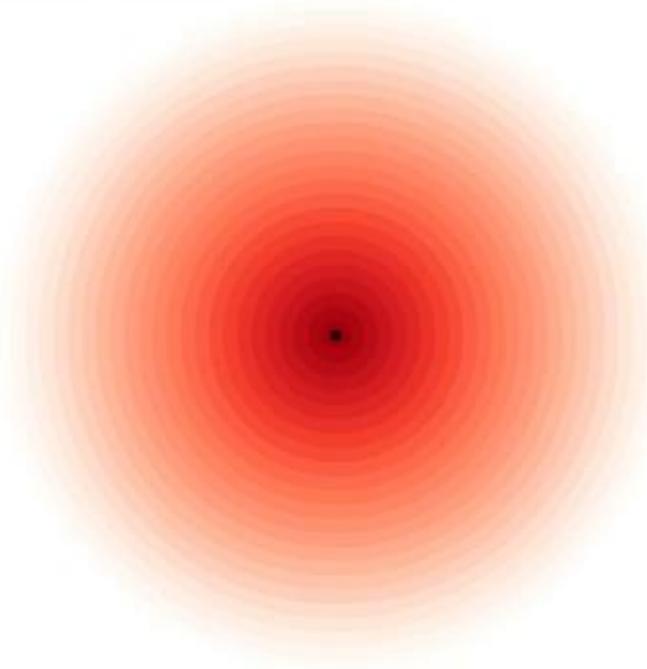
# Surfaces implicites

- Définition :
  - Points  $(x, y, z)$  tels que  $F_i(x, y, z) = \text{constante} \rightarrow$  seuil
  - Objet implicite  $B_i$ 
    - Centre  $P_i$
    - Fonction de densité  $F_i$



# Surfaces implicites

- Construction par composition d'objets implicites :
  - Fonction de densité défini par « mélange »



# Surfaces implicites

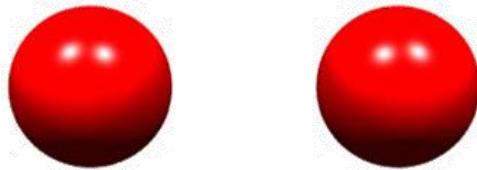
- Construction par composition d'objets implicites :
  - Fonction de densité défini par « mélange »

$$\rightarrow F(r) = \sum_{i=1}^n F_i(r)$$

# Surfaces implicites

- Construction par composition d'objets implicites :
  - Fonction de densité défini par « mélange »

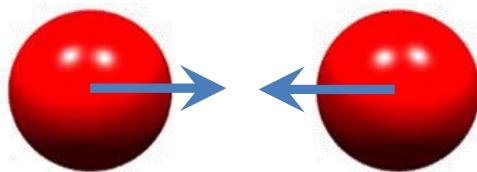
$$\rightarrow F(r) = \sum_{i=1}^n F_i(r)$$



# Surfaces implicites

- Construction par composition d'objets implicites :
  - Fonction de densité défini par « mélange »

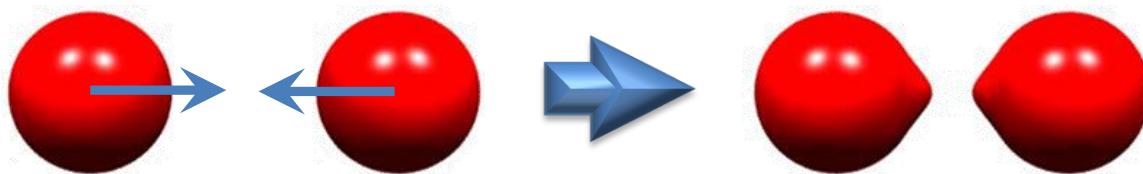
$$\rightarrow F(r) = \sum_{i=1}^n F_i(r)$$



# Surfaces implicites

- Construction par composition d'objets implicites :
  - Fonction de densité défini par « mélange »

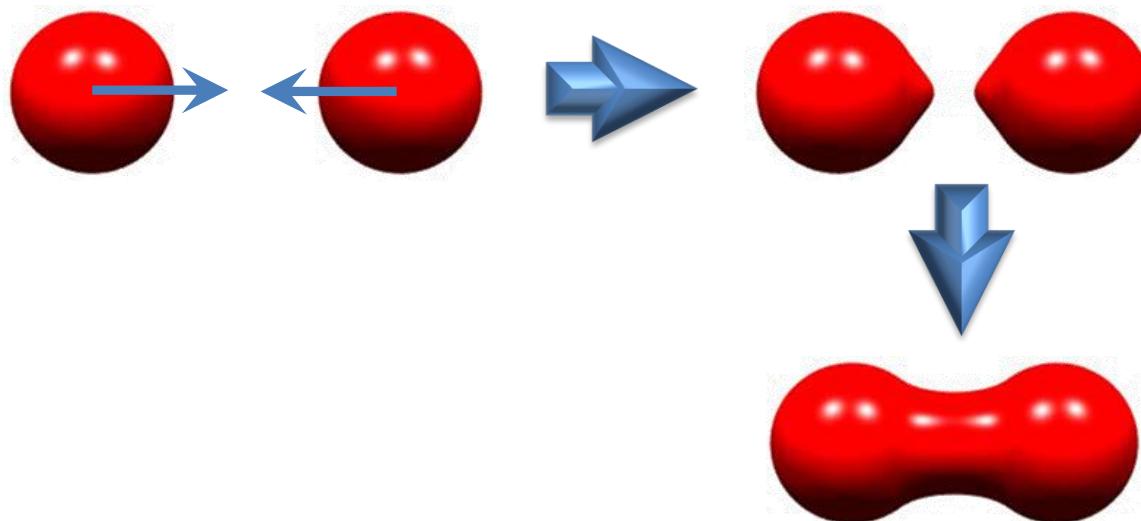
$$\rightarrow F(r) = \sum_{i=1}^n F_i(r)$$



# Surfaces implicites

- Construction par composition d'objets implicites :
  - Fonction de densité défini par « mélange »

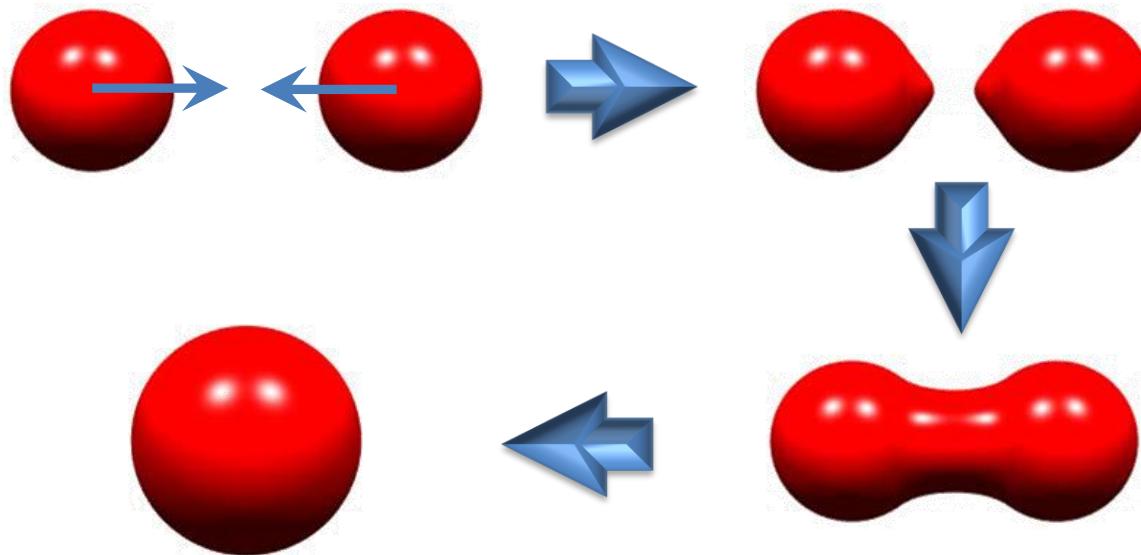
$$\rightarrow F(r) = \sum_{i=1}^n F_i(r)$$



# Surfaces implicites

- Construction par composition d'objets implicites :
  - Fonction de densité défini par « mélange »

$$\rightarrow F(r) = \sum_{i=1}^n F_i(r)$$



# Surfaces implicites

- Construction par composition d'objets implicites :
  - Fonction de densité défini par « mélange »



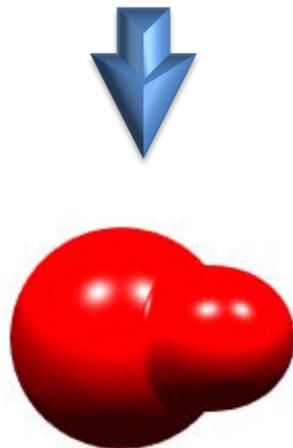
# Surfaces implicites

- Influence positive      ou      Influence négative

# Surfaces implicites

- Influence positive      ou      Influence négative

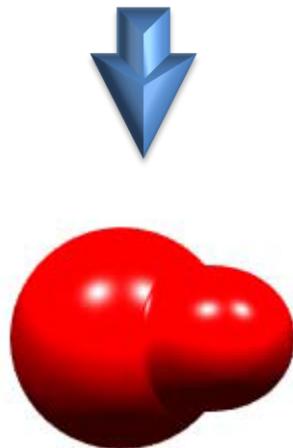
$$F(r) = F_1 + F_2$$



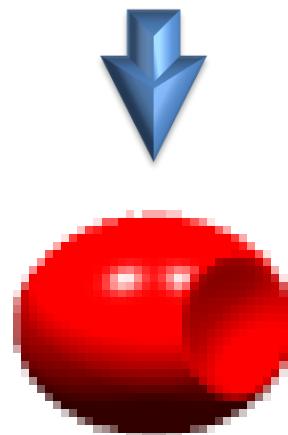
# Surfaces implicites

- Influence positive      ou      Influence négative

$$F(r) = F_1 + F_2$$

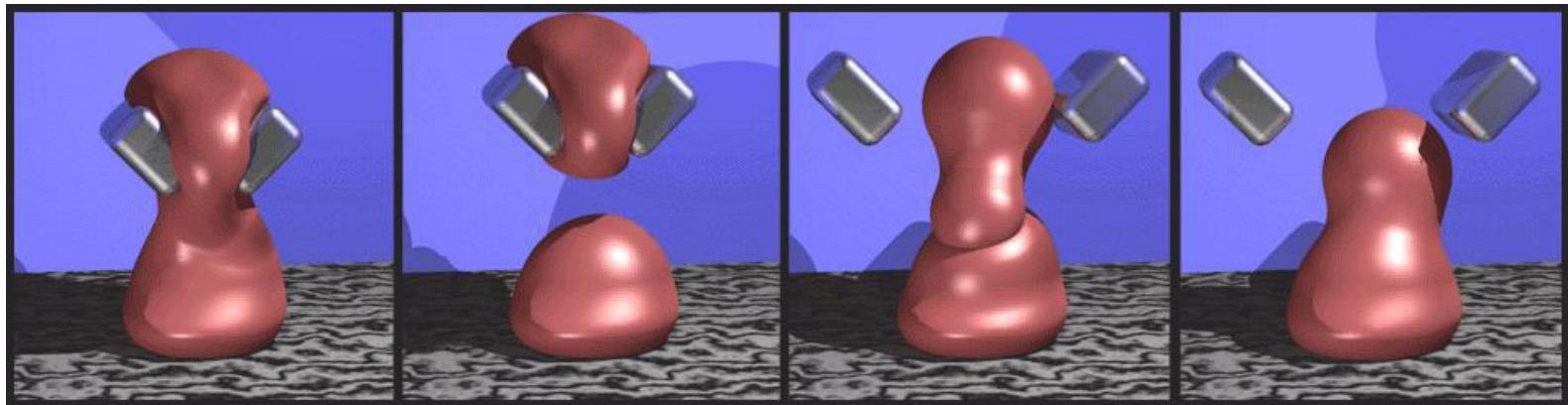


$$F(r) = F_1 - F_2$$



# Surfaces implicites

- Permet de modéliser des “chocs” entre objet :



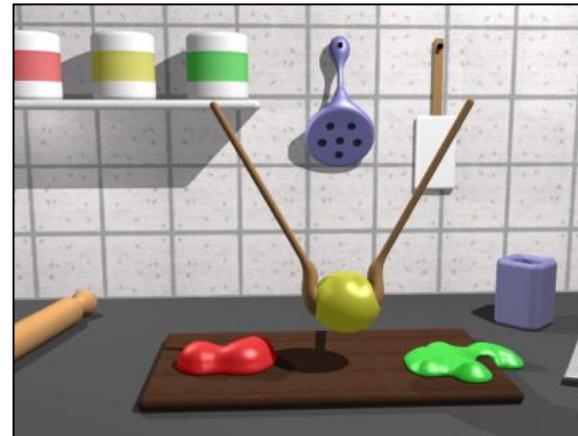
# Surfaces implicites

- Exemple d'animation possibles :



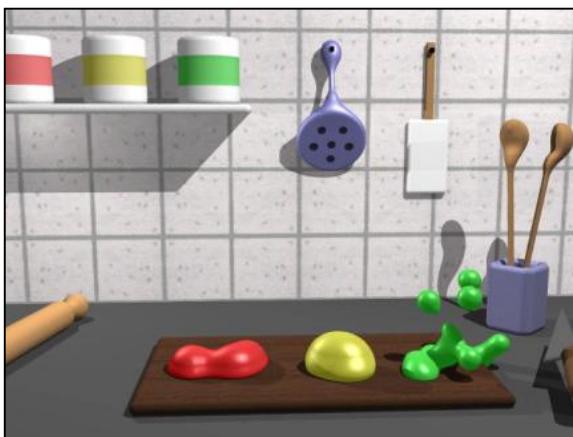
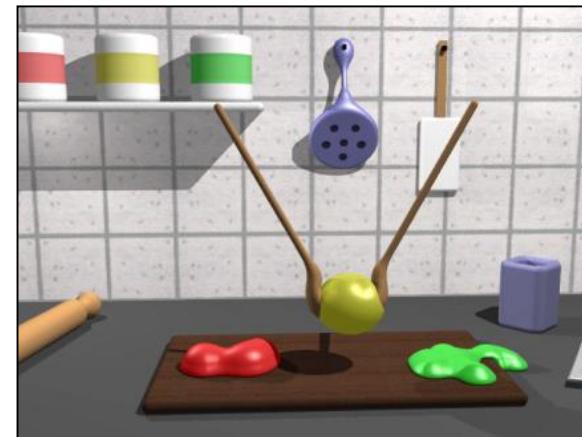
# Surfaces implicites

- Exemple d'animation possibles :



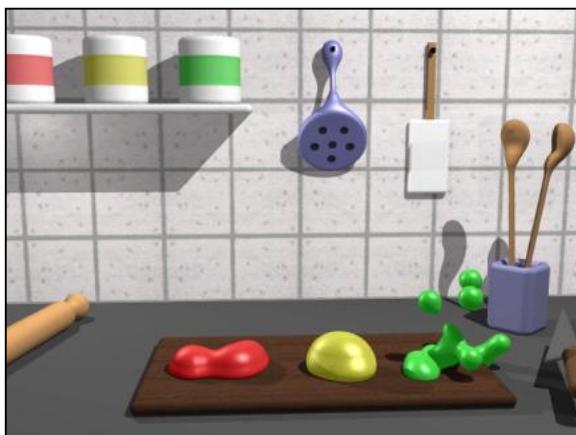
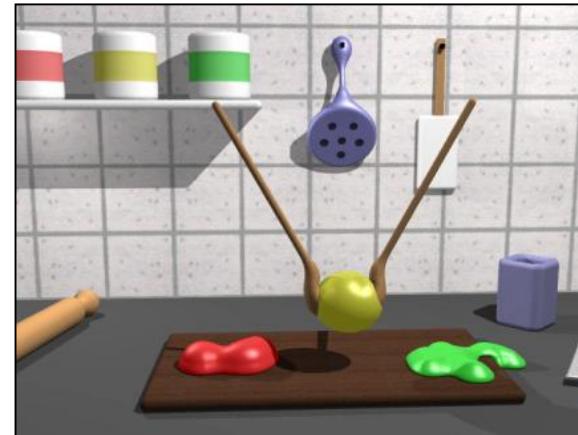
# Surfaces implicites

- Exemple d'animation possibles :



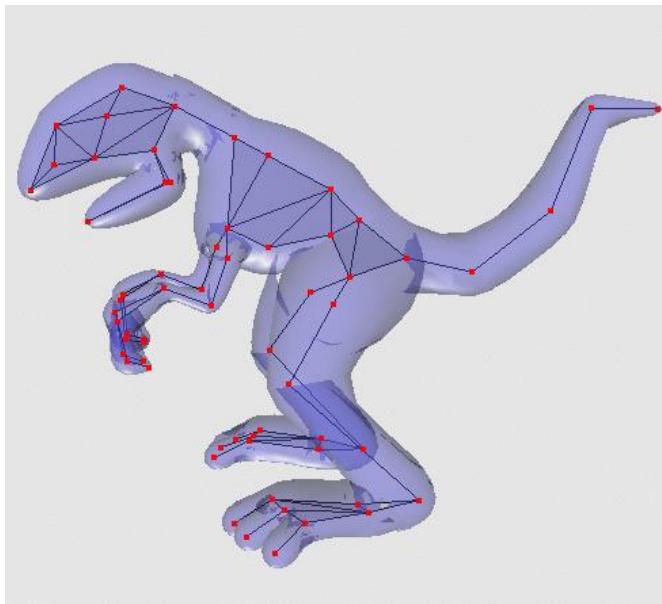
# Surfaces implicites

- Exemple d'animation possibles :



# Surfaces implicites

- Construction à partir d'un squelette
  - Fonction de distance au point le plus proche sur le squelette



# Surfaces implicites

- Possibilité d'aller plus loin dans la gestion des formes de mélange :



Extrait de la thèse de Cédric Zanni :  
« Modélisation implicite par squelette et  
Applications », Université Joseph-Fourier -  
Grenoble I, 2013

# Surfaces implicites

- Différentes fonctions d'assemblage :
  - Blinn (82) ➔ Exponentielle
  - Nishimura (85) ➔ Quadrique
  - Wyvill (86) ➔ Polynôme de degré 6
  - Murakami (87) ➔ Polynôme de degré 4
  - ...

# Surfaces implicites

- Application :

- représentation mathématiques adaptée à la modélisation de volume (de géométrie et de topologie changeante)



Rendered  
using ray-  
tracing



# Surfaces implicites

- Application :
  - modélisation de terrains
    - caractérisation volumique des matériaux
    - lissage de la surface par convolution

# Surfaces implicites

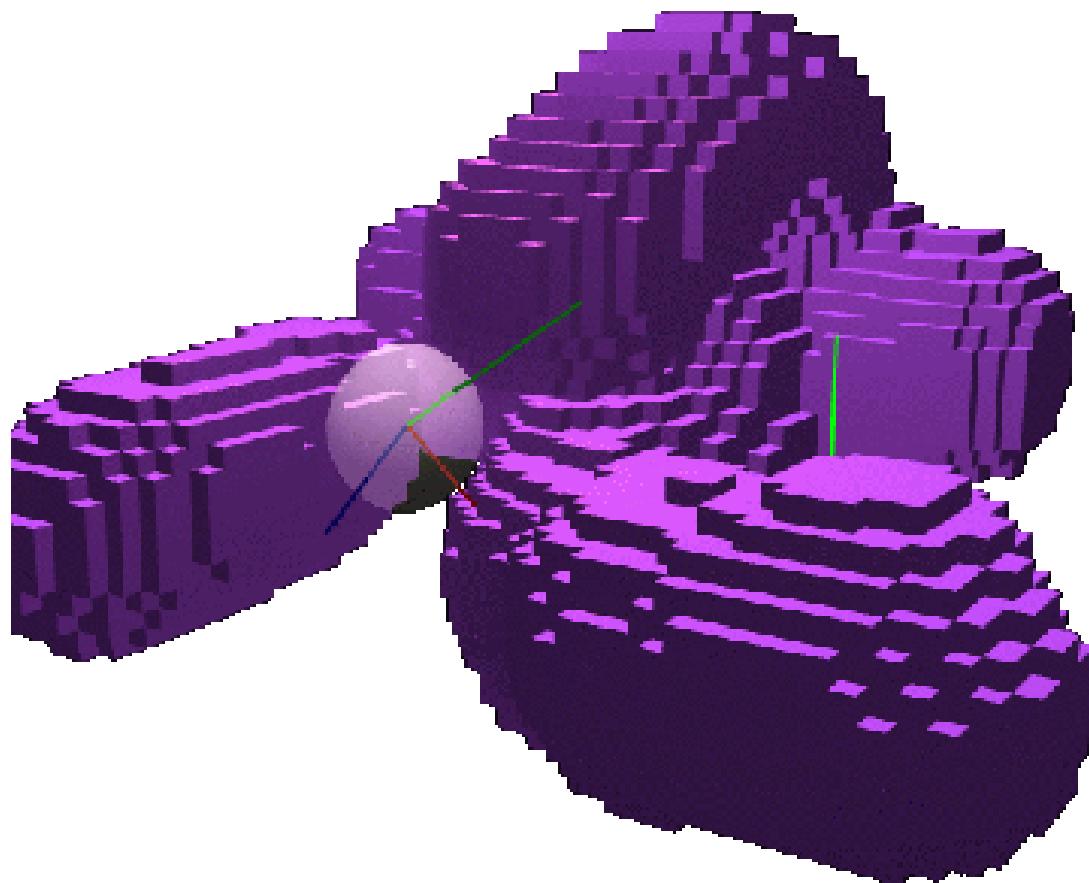
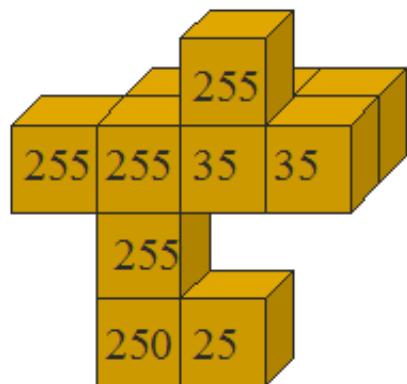
- Application :
  - modélisation de terrains
    - caractérisation volumique des matériaux
    - lissage de la surface par convolution
    - représentation implicite de rochers



Extrait de : <http://liris.cnrs.fr/~egalin/Slides/blob-0-overview.pdf>

# Surfaces implicites

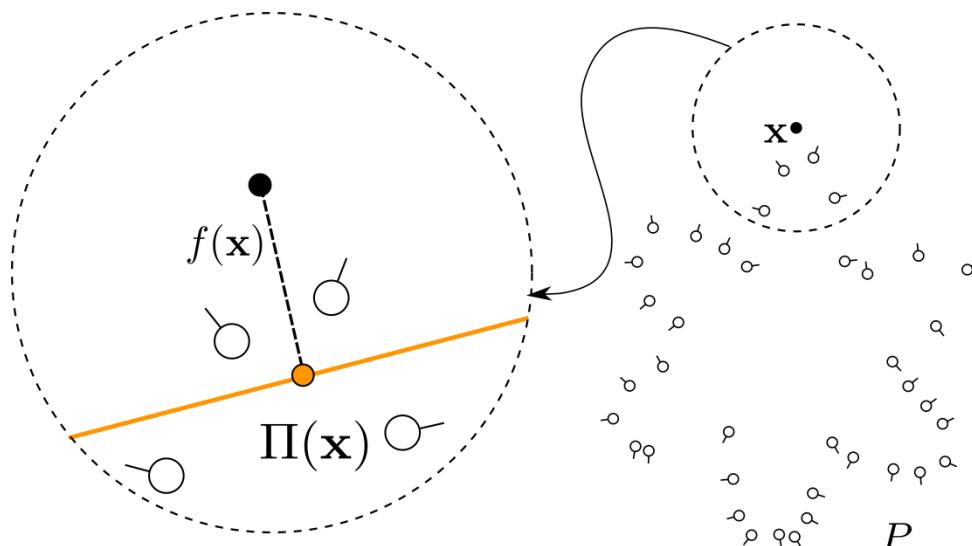
- Discrétisation :
  - par voxel



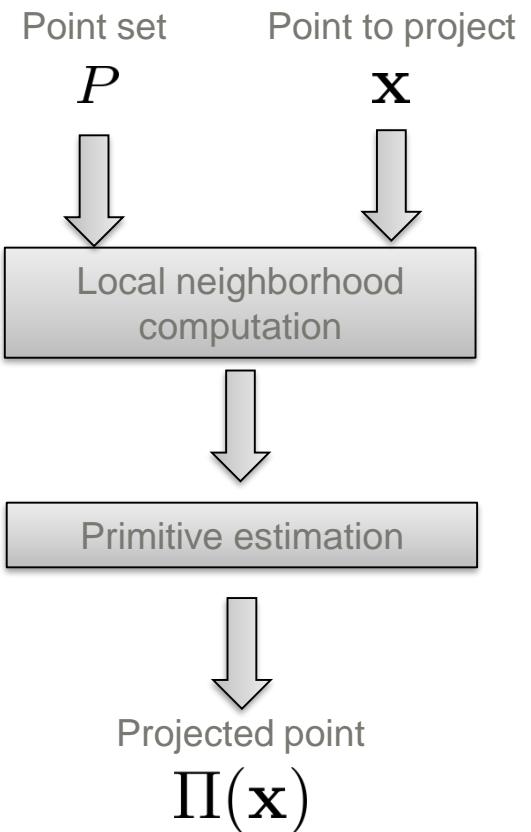
# Surface implicites

MLS projection [Adamson 2004]

- Surface Moving Least Squares



$$\Pi(\mathbf{x}) = \mathbf{x} - f(\mathbf{x}) n(\mathbf{x})$$



# Plan

- Introduction
- Octree
- Surfaces implicites
- **Composition arborescente de solides**
- Passage du volumique au surfacique

# Composition arborescente de solides

- Constructive Solid Geometry → CSG
  - un des formalismes les plus répandus

# Composition arborescente de solides

- Constructive Solid Geometry → CSG
  - un des formalismes les plus répandus
  - à partir d'un ensemble de primitives solides :
    - parallélépipèdes
    - sphères
    - cylindres ...

# Composition arborescente de solides

- Constructive Solid Geometry → CSG
  - un des formalismes les plus répandus
  - à partir d'un ensemble de primitives solides :
    - parallélépipèdes
    - sphères
    - cylindres ...
  - transformations dans l'espace
    - translation
    - rotation ...

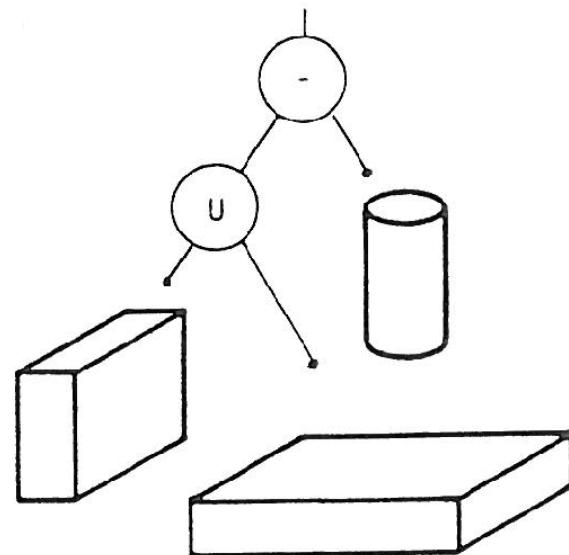
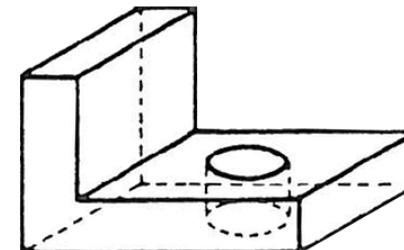
# Composition arborescente de solides

- Constructive Solid Geometry → CSG
  - un des formalismes les plus répandus
  - à partir d'un ensemble de primitives solides :
    - parallélépipèdes
    - sphères
    - cylindres ...
  - transformations dans l'espace
    - translation
    - rotation ...
  - combinaisons de ces primitives
    - union
    - soustraction ...

# Composition arborescente de solides

- **Constructive Solid Geometry**

- représentation par un arbre binaire :

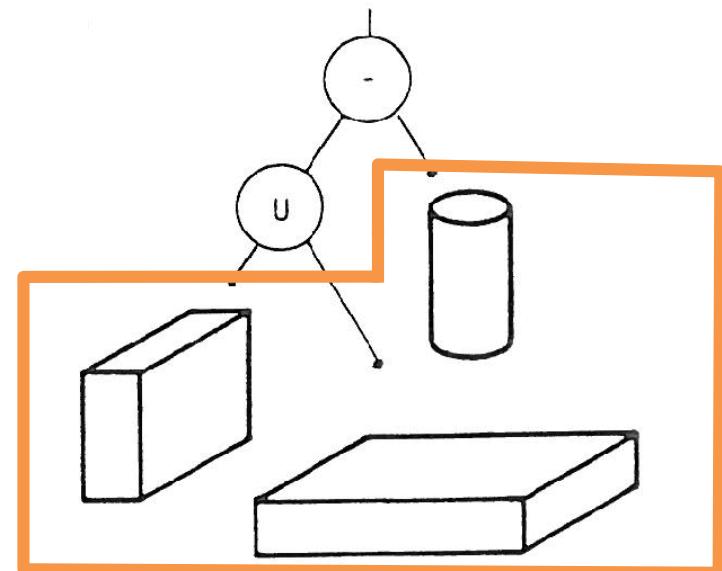
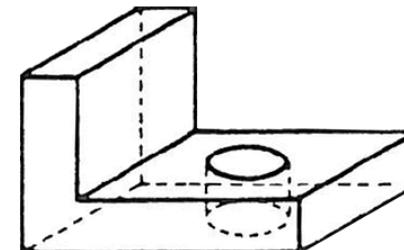


# Composition arborescente de solides

- **Constructive Solid Geometry**

- représentation par un arbre binaire :

- primitives géométriques comme feuilles

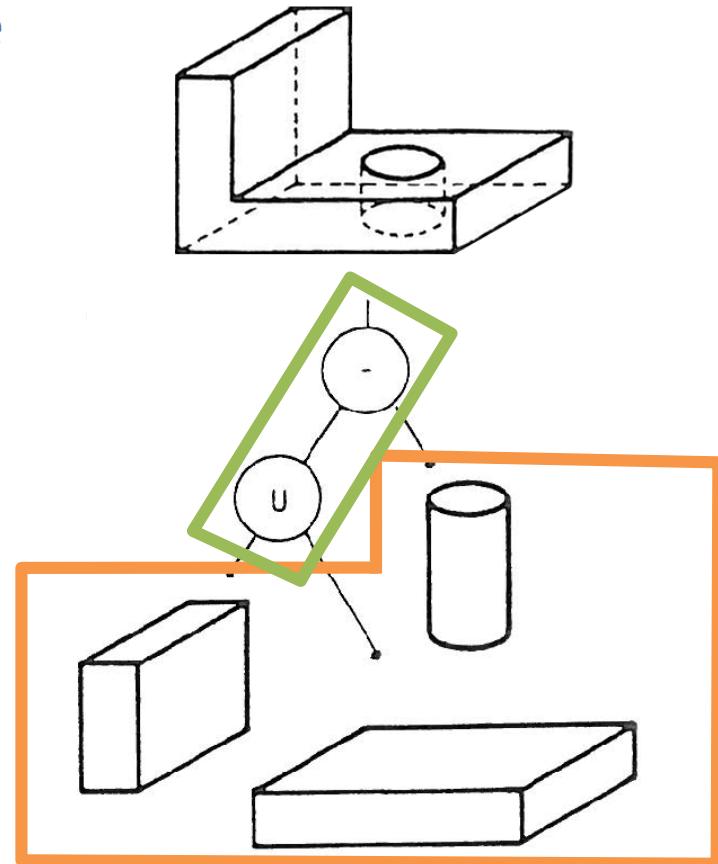


# Composition arborescente de solides

- **Constructive Solid Geometry**

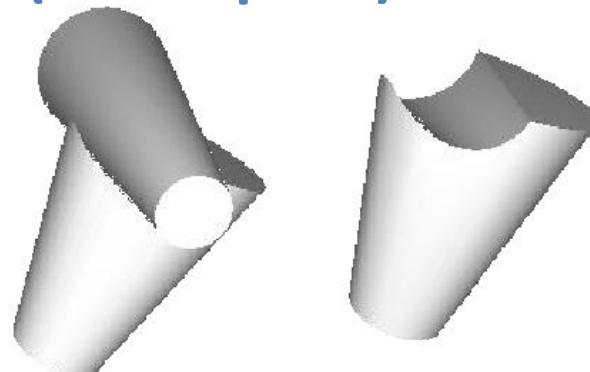
- représentation par un arbre binaire :

- primitives géométriques comme feuilles
- nœud comme opérateurs de composition



# Composition arborescente de solides

- Constructive Solid Geometry (exemples)
  - Union ou Différence

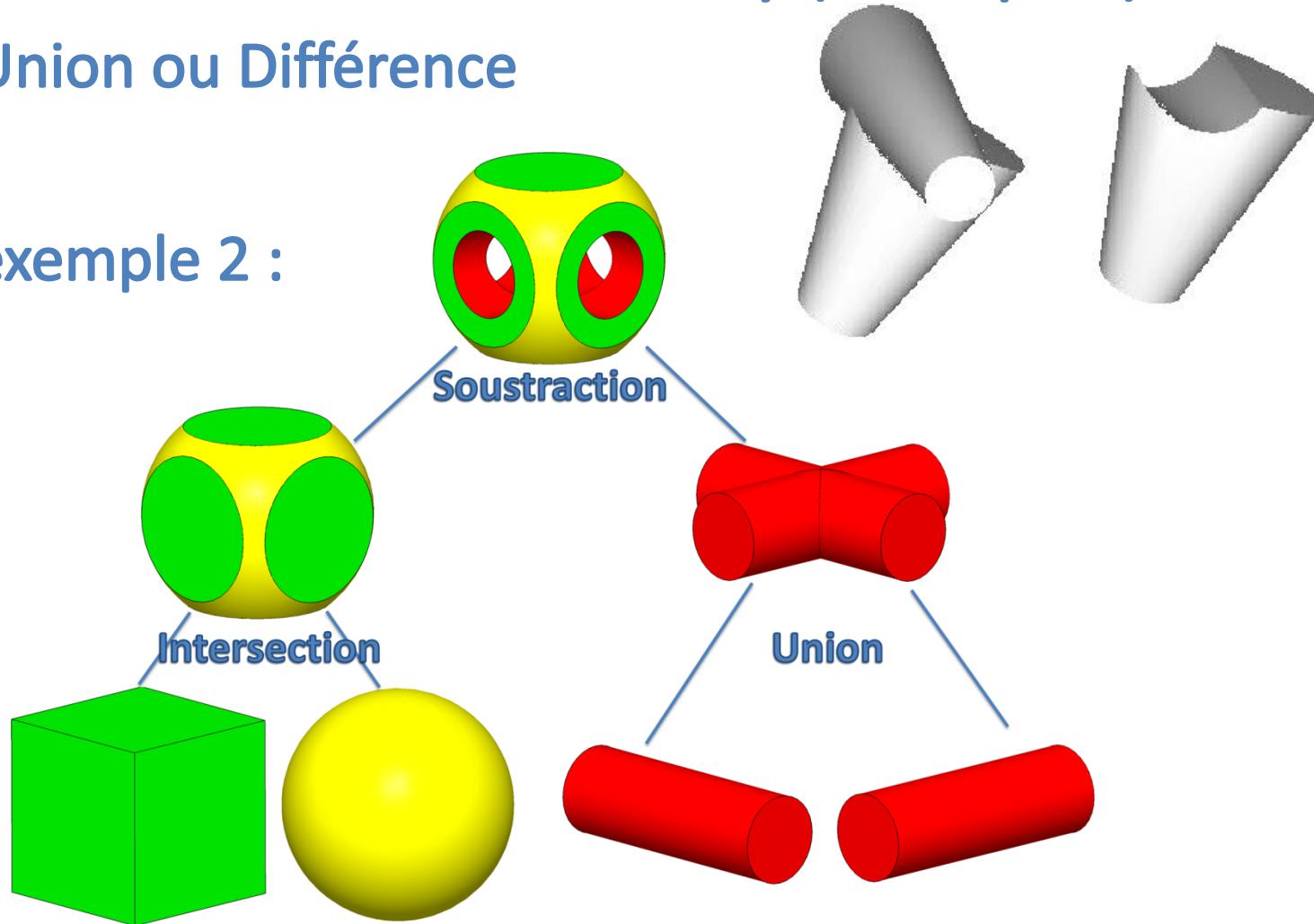


# Composition arborescente de solides

- Constructive Solid Geometry (exemples)

- Union ou Différence

- exemple 2 :



# Composition arborescente de solides

- CSG + surfaces implicites

- à la fois union / intersection ...

- mais aussi mélange / déformation ...



# Plan

- Introduction
- Octree
- Surfaces implicites
- Composition arborescente de solides
- **Passage du volumique au surfacique**

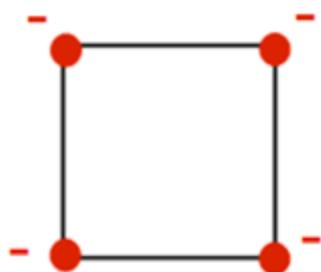
# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :

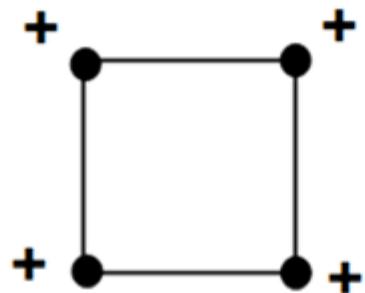
# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :

➤ Idée en 2D



Non sécant

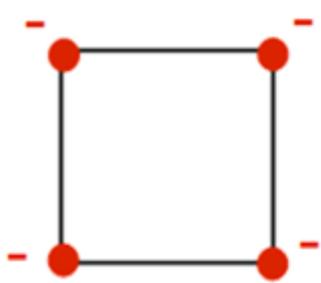


Non sécant

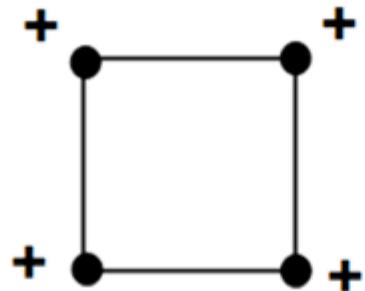
# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :

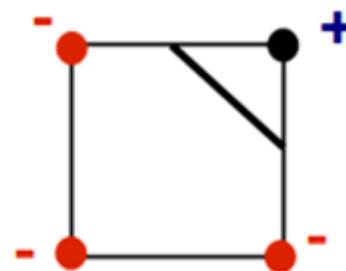
➤ Idée en 2D



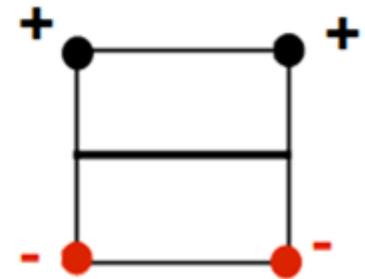
Non sécant



Non sécant



Sécant

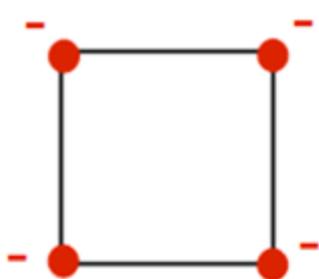


Sécant

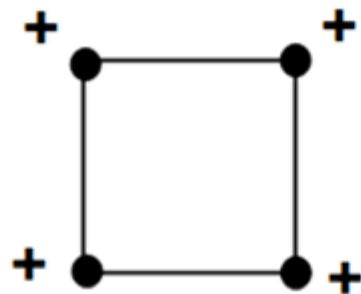
# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :

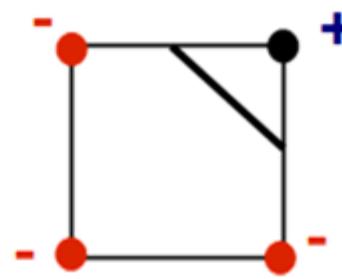
➤ Idée en 2D



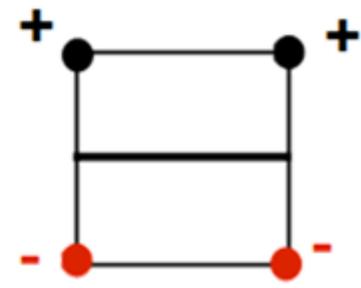
Non sécant



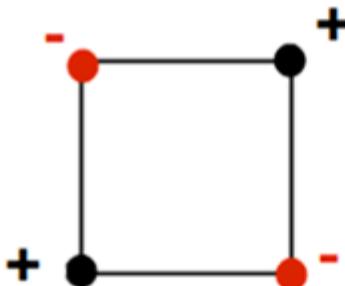
Non sécant



Sécant



Sécant

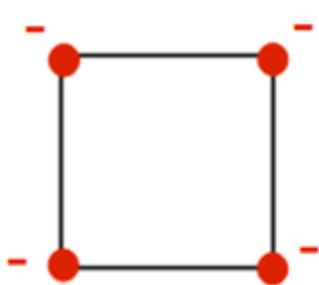


Sécant et indétermination

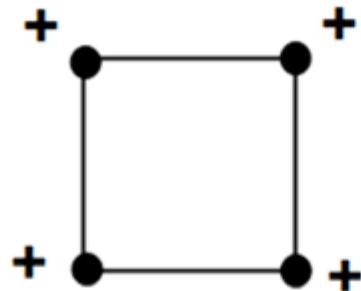
# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :

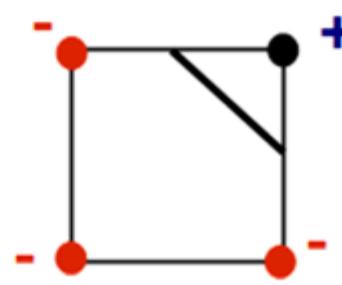
➤ Idée en 2D



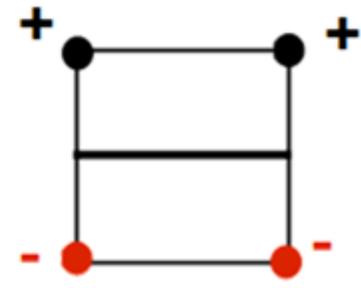
Non sécant



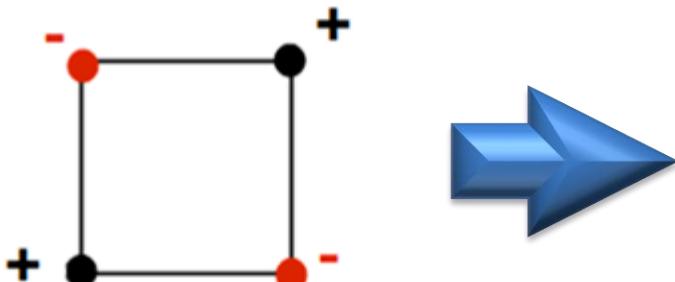
Non sécant



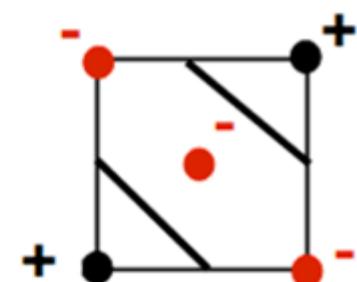
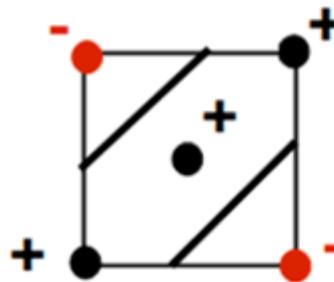
Sécant



Sécant



Sécant et indétermination



# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :
  - En 3D : après exploitation des symétries

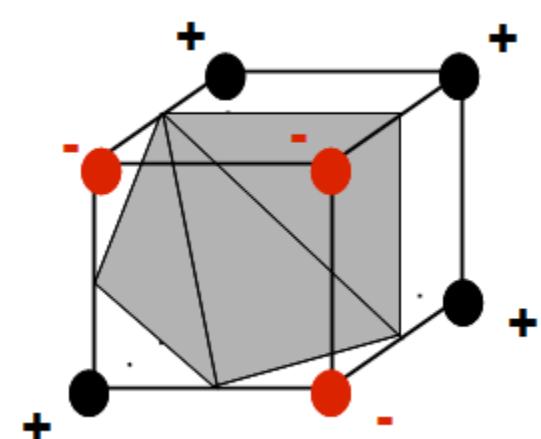
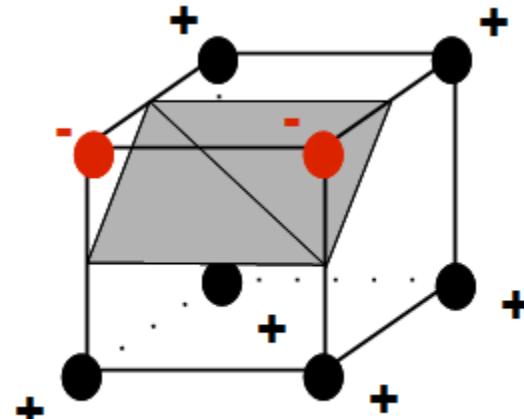
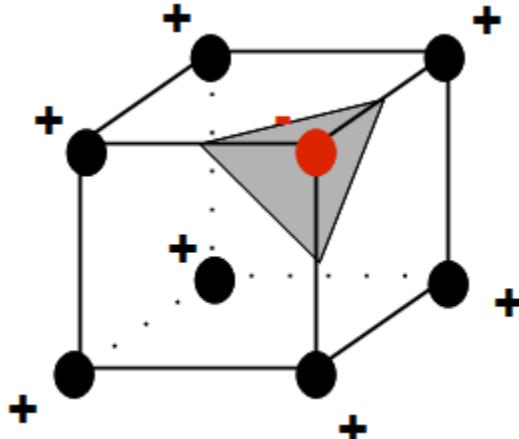
# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :
  - En 3D : après exploitation des symétries
  - il reste **15** cas différents :

# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :

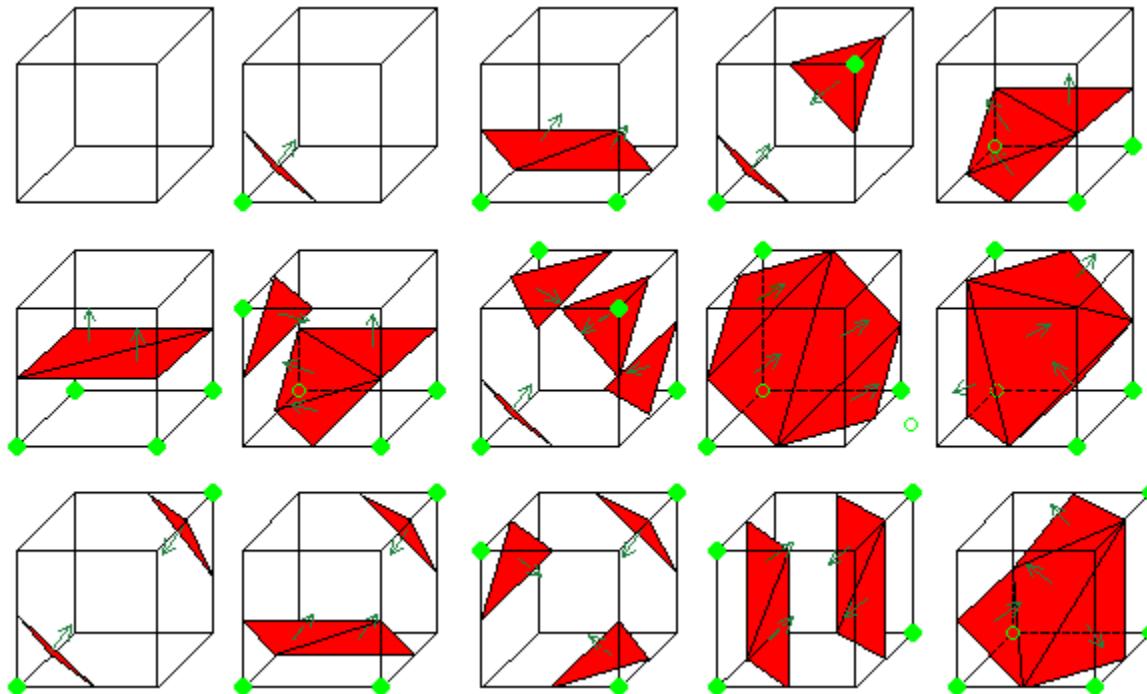
- En 3D : après exploitation des symétries
- il reste **15** cas différents :



# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :

- En 3D : après exploitation des symétries
- il reste **15** cas différents :

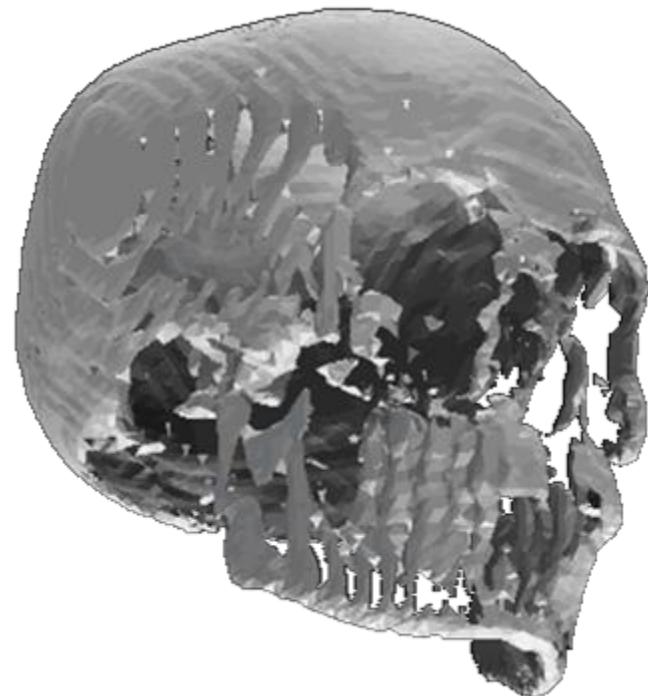
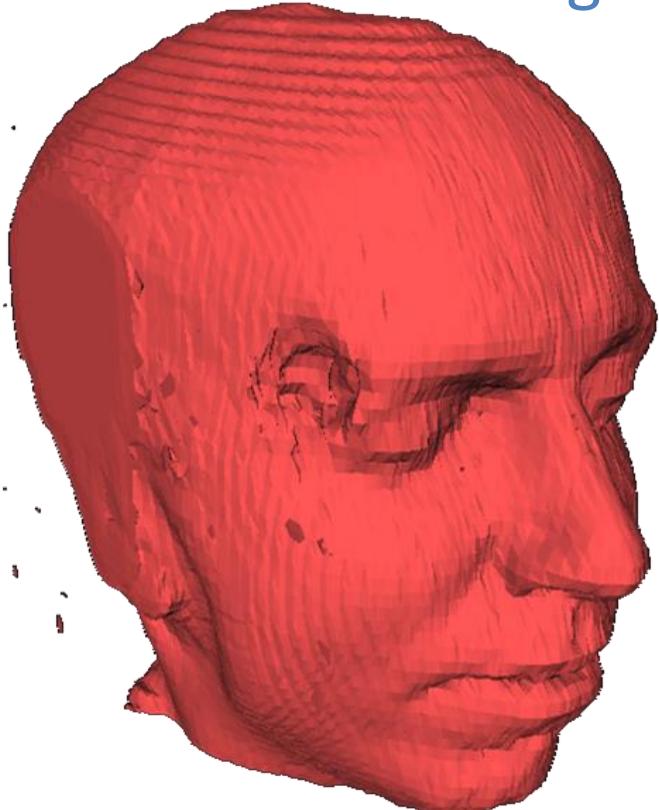


# Passage du volumique au surfacique

- **Algorithme du Marching Cube :**
  - à partir d'un ensemble de cellules intersectant, on obtient un maillage triangulaire de la surface :

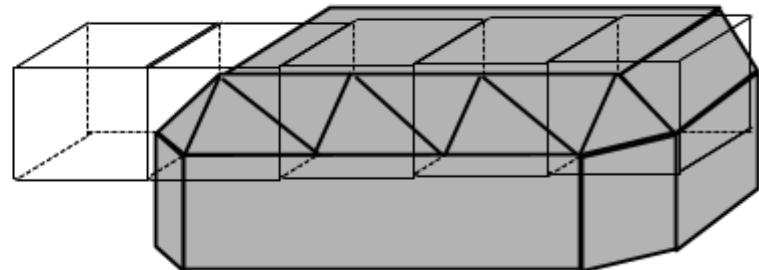
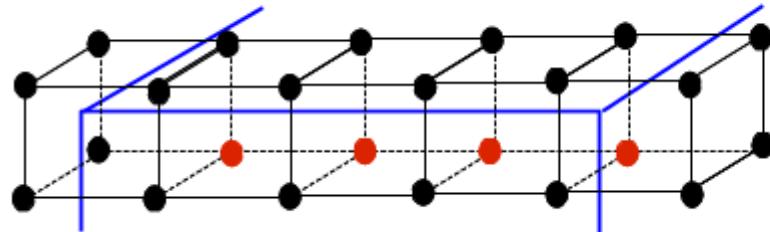
# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :
  - à partir d'un ensemble de cellules intersectant, on obtient un maillage triangulaire de la surface :



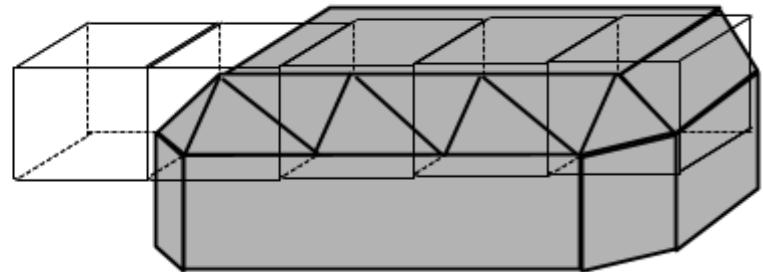
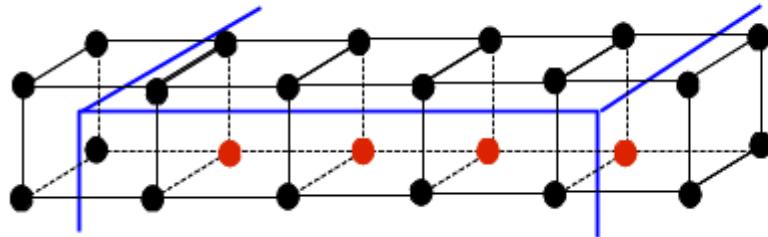
# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :
  - problème des arêtes saillantes :



# Passage du volumique au surfacique

- Algorithme du **Marching Cube** :
  - problème des arêtes saillantes :



- il existe des améliorations possibles en utilisant les intersections entre les cubes et la surface.

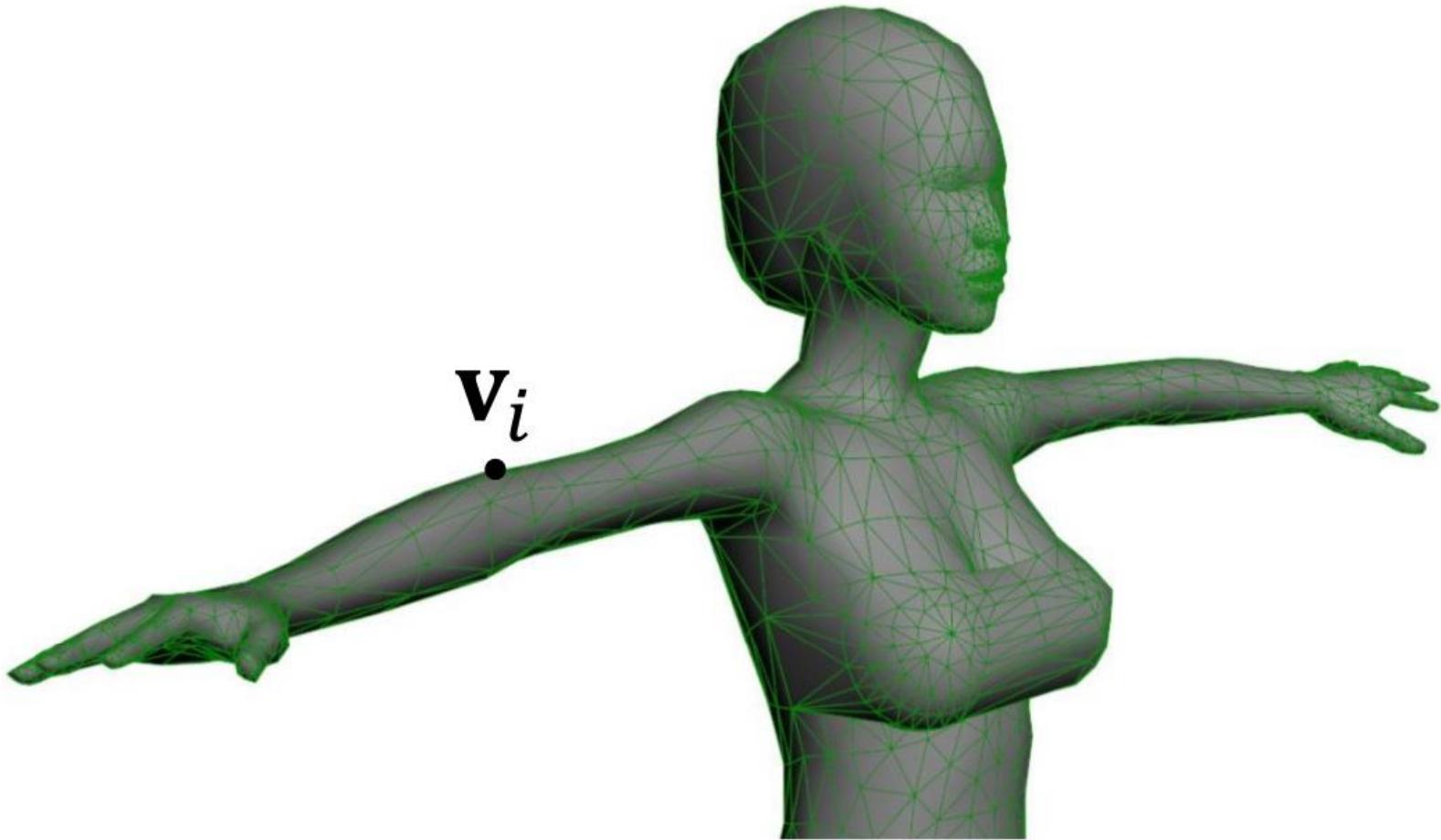
# Conclusion

- **Représentation volumique :**
  - soit de manière continue,
    - surface implicite
    - modèle CSG
  - soit de manière discrète,
    - par voxel
    - en créant une triangulation

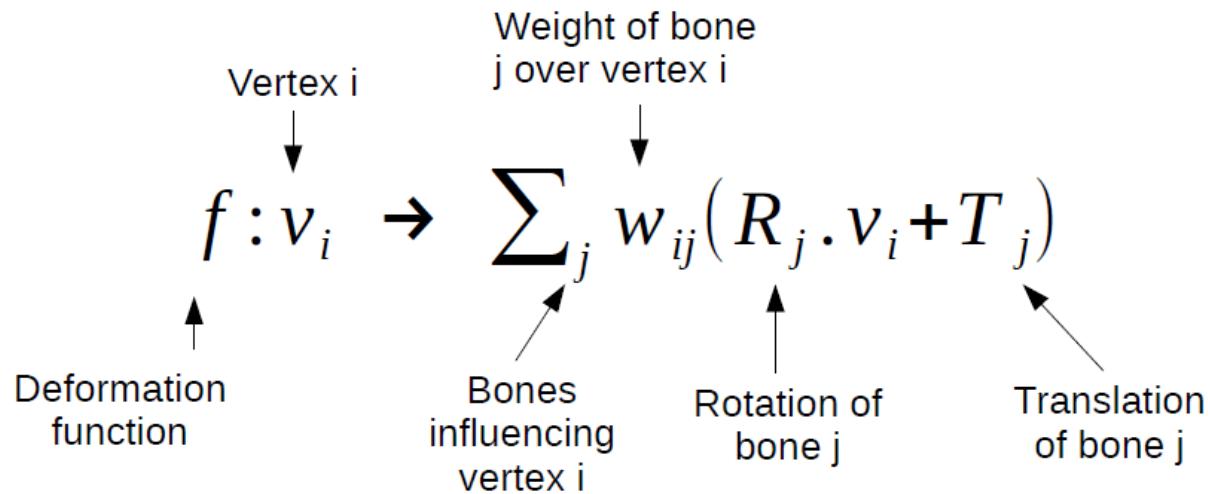
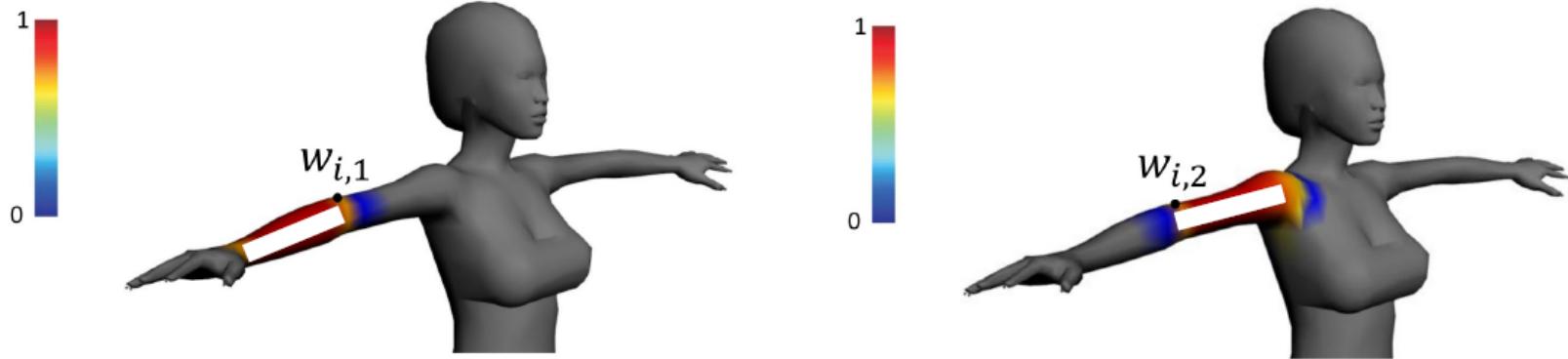
# TP

- Récupérez le code sur le moodle
- Calcul de points de déformation

# Linear blend skinning



# Linear blend skinning



# FIN

# Sources

- Cour utilisé pour ce support :
  - Roseline Benière (C4W)
  - Gilles Gesquière (Gamagora Lyon)
  - Christian Jacquemin (LIMSI – Paris 11)
  - Marc Daniel (LSIS – Marseille)
  - Fabrice Aubert (LIFL – Lille)
  - Marc Neveu (Le2i - Dijon)
  - Equipe Vortex (IRIT – UPS Toulouse)