

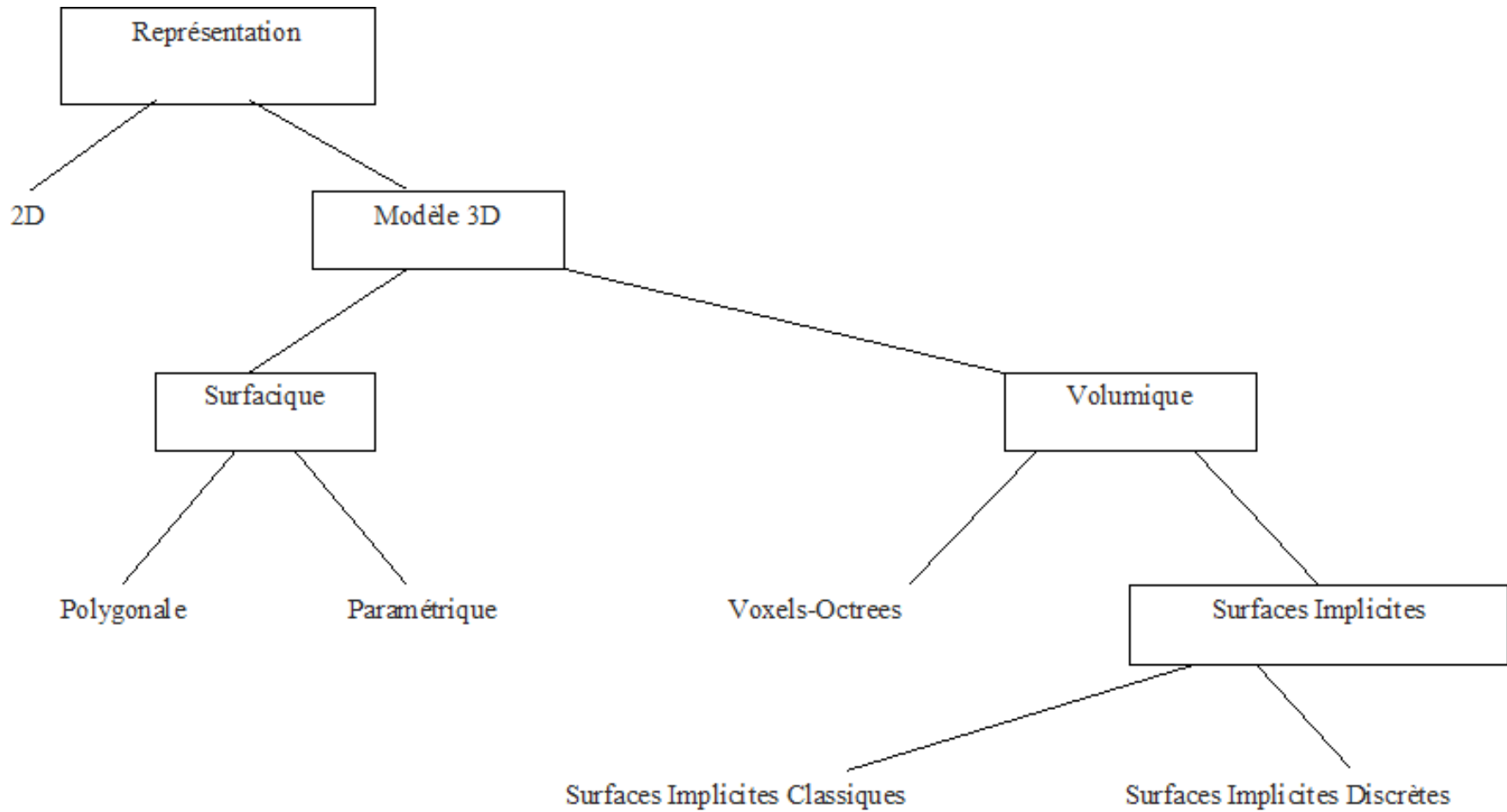
# CHAPITRE 05

## Modèles Volumiques

Ce cours est une **compilation** :

- Du cours de Modélisation géométrique (IRIT-UPS Toulouse; Equipe Vortex)
- Cours de Christian Jacquemin (LIMSI- Paris 11)
  - Cours de Marc Daniel (LSIS- Marseille)
    - Cours G. Gesquière (LIRIS)
    - Cours C. Le Bihan Gautier (LIRIS)

# Continu Vs Discret



# Plan

---

- Représentation Volumique
  - Voxel
  - Octree
    - Octree régulier et adaptatif
    - Représentation surfacique et volumique d'un objet 3D
  - Ondelettes
  - Surfaces implicites
- Modèle B-Rep

# Jeux dans des mondes en volumes...

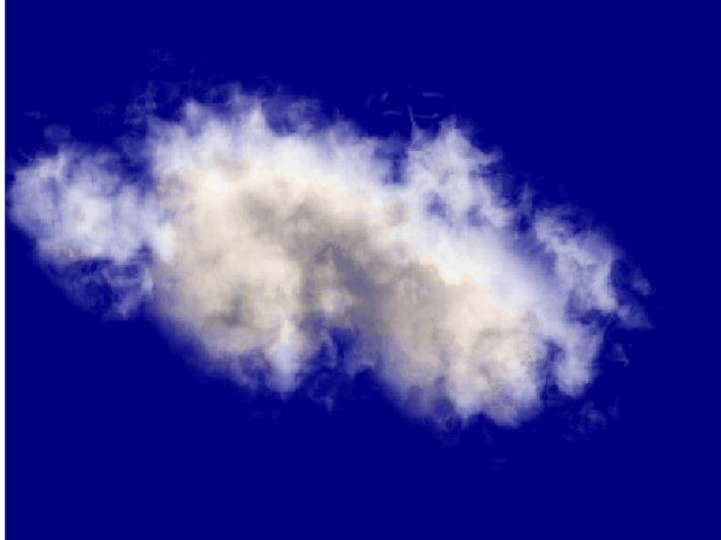
*Infiniminer* est un [jeu vidéo indépendant](#) de type [bac à sable](#) en [multijoueur](#) conçu par [Zachary Barth](#). Sorti en [2009](#), le jeu propose au joueur d'incarner un personnage se mouvant dans un univers en trois dimensions, représenté par des cubes, la représentation du décor utilisant le principe des [voxels](#). Il est possible de récupérer des ressources en creusant dans ces cubes, et de créer de nouveaux blocs avec les ressources ainsi accumulées.

Il est le principal inspirateur de [Minecraft](#), dont le développement débuta le [10 mai 2009](#), ainsi que d'autres jeux utilisant ce concept de cubes, tels que [FortressCraft](#), [Total Miner](#), [CastleMiner](#), [CraftWorld](#), [Ace of Spades](#), [Guncraft](#), [7 Days to Die](#), [Block Fortress](#) ou encore les variantes [libres](#) *Minetest*, *BlockColor* et *Voxelands*.



# Phénomènes atmosphériques et volumes

David Ebert Volumetric modeling with implicit functions: A cloud is born, 1997



## **Procedural Cloudscapes.**

A. Webanck, Y. Cortial, E.  
Guérin, E. Galin.

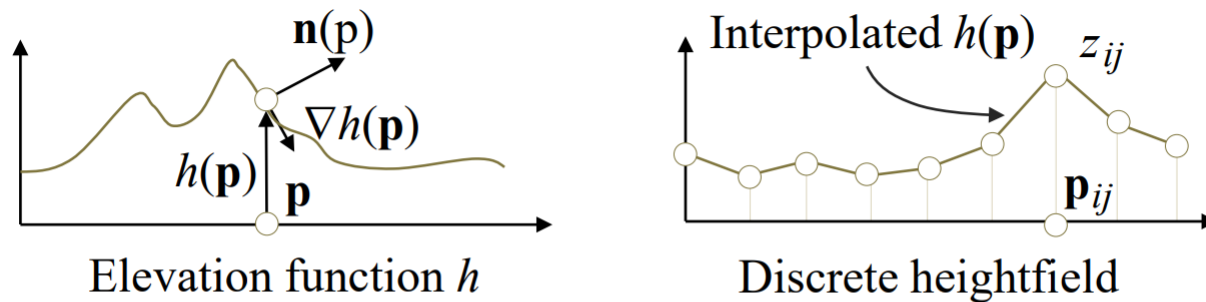
*Computer Graphics*

*Forum*, **37**(2), Eurographics,  
2018.

# Pourquoi des Terrains volumiques

Eric Galin, Eric Guérin, Adrien Peytavie, Guillaume Cordonnier, Marie-Paule Cani, et al.. A Review of Digital Terrain Modeling. Computer Graphics Forum, Wiley, 2019, 38 (2). fhal-02097510f

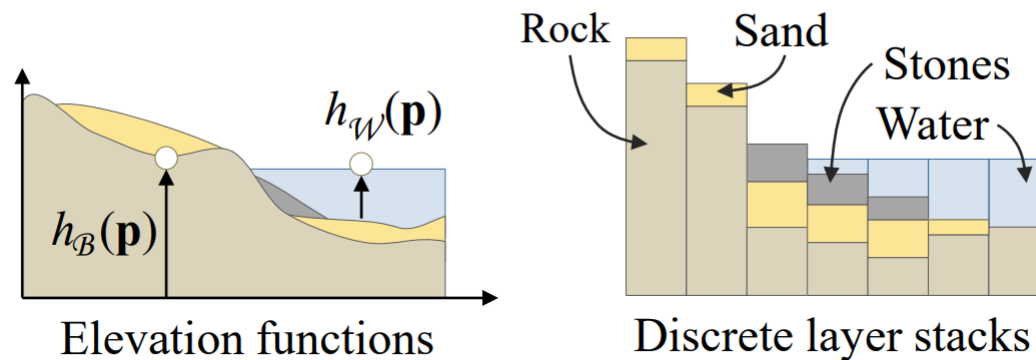
Représentation surfacique usuelle : fonction continue ou points interpolés



**Figure 1:** *Elevation can be represented by an analytic or procedurally defined function, or by discrete heightfield data, in which case the elevation at any point is reconstructed by interpolation.*

# Pourquoi des Terrains volumiques

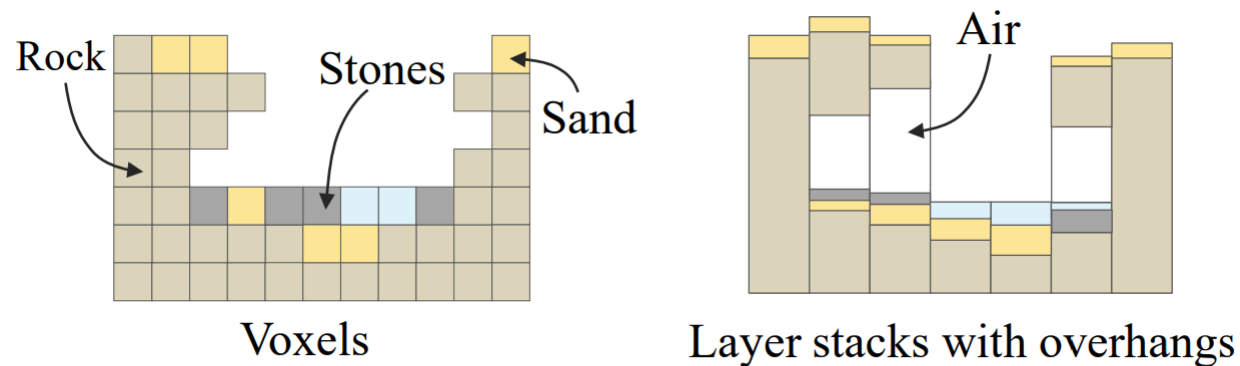
Représentation surfacique usuelle : modèle en couches



**Figure 2:** *Layered models represent different types of materials organized in a predefined sorting order (bedrock, then sand and rocks, followed by water).*

# Pourquoi des Terrains volumiques

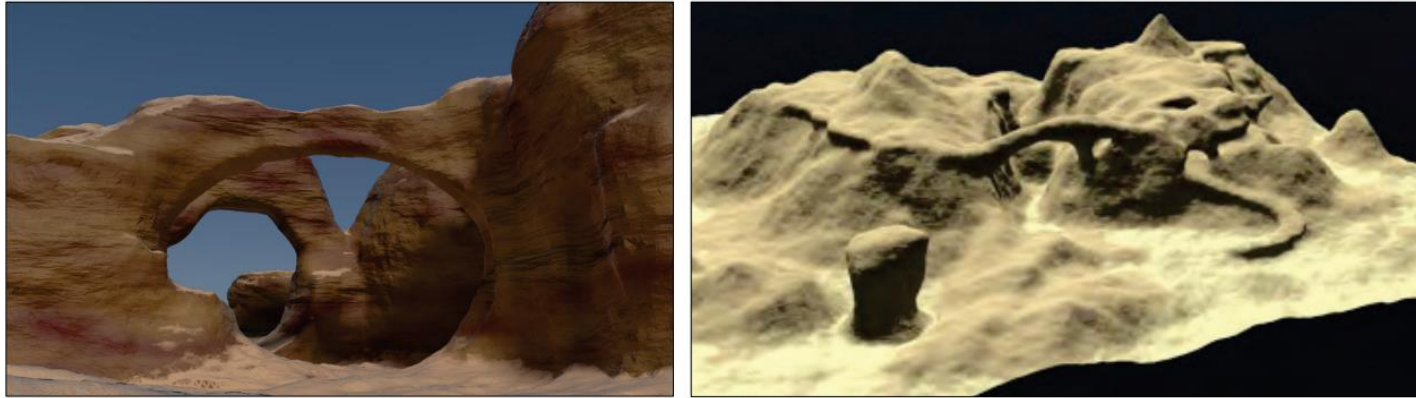
Utiliser une représentation en volume (cubes ou piles de matières)



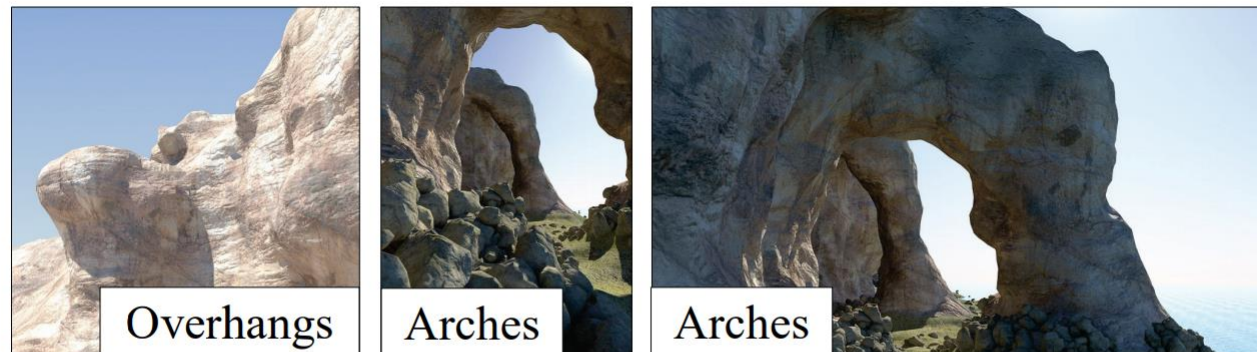
**Figure 3:** *Voxel representations allow the modeling of arches, caves or overhangs, but are limited by their discrete nature.*



# Exemples de terrains volumiques



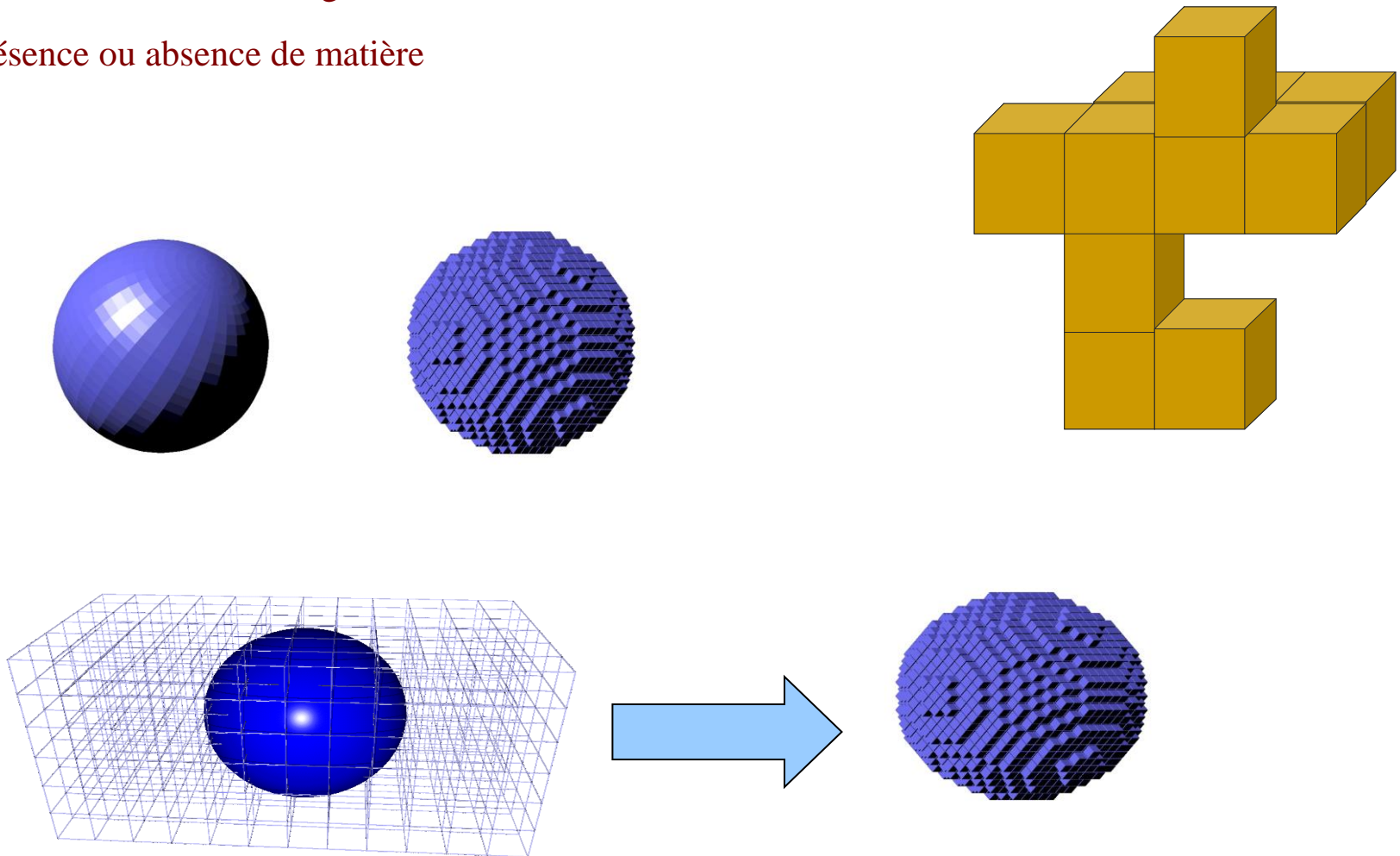
**Figure 15:** *Example of volumetric terrains featuring arches and overhangs produced by 3D curves (from [BKRE17, BKRE18]).*



**Figure 14:** *Arches and overhangs with different materials (bedrock and sand) generated by the hybrid layer-stack implicit surface representation (from [PGMG09a]).*

# Modèles Volumiques : Voxels

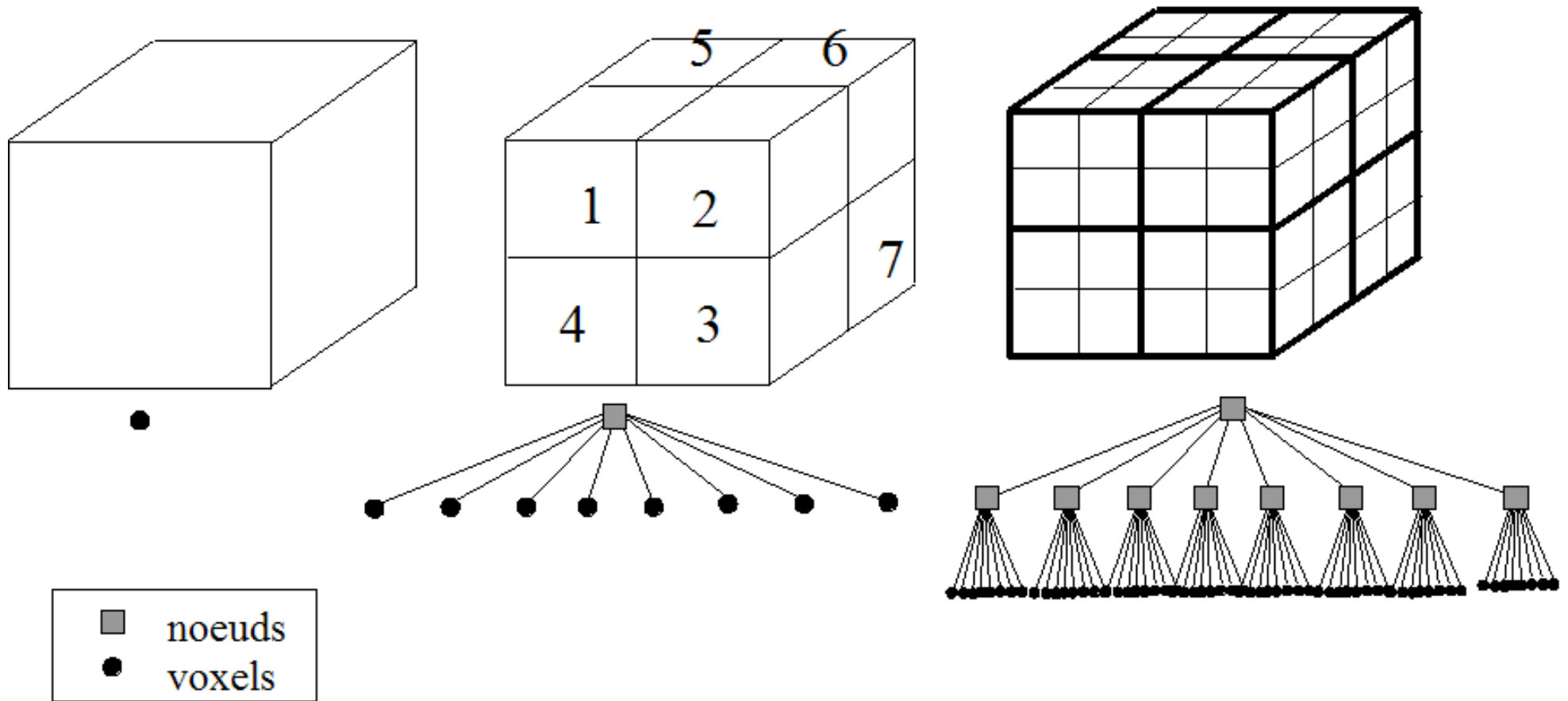
- Volumes discrets
  - Voxel = éléments d'une grille 3D
  - Présence ou absence de matière



# Modèle volumique : octree régulier

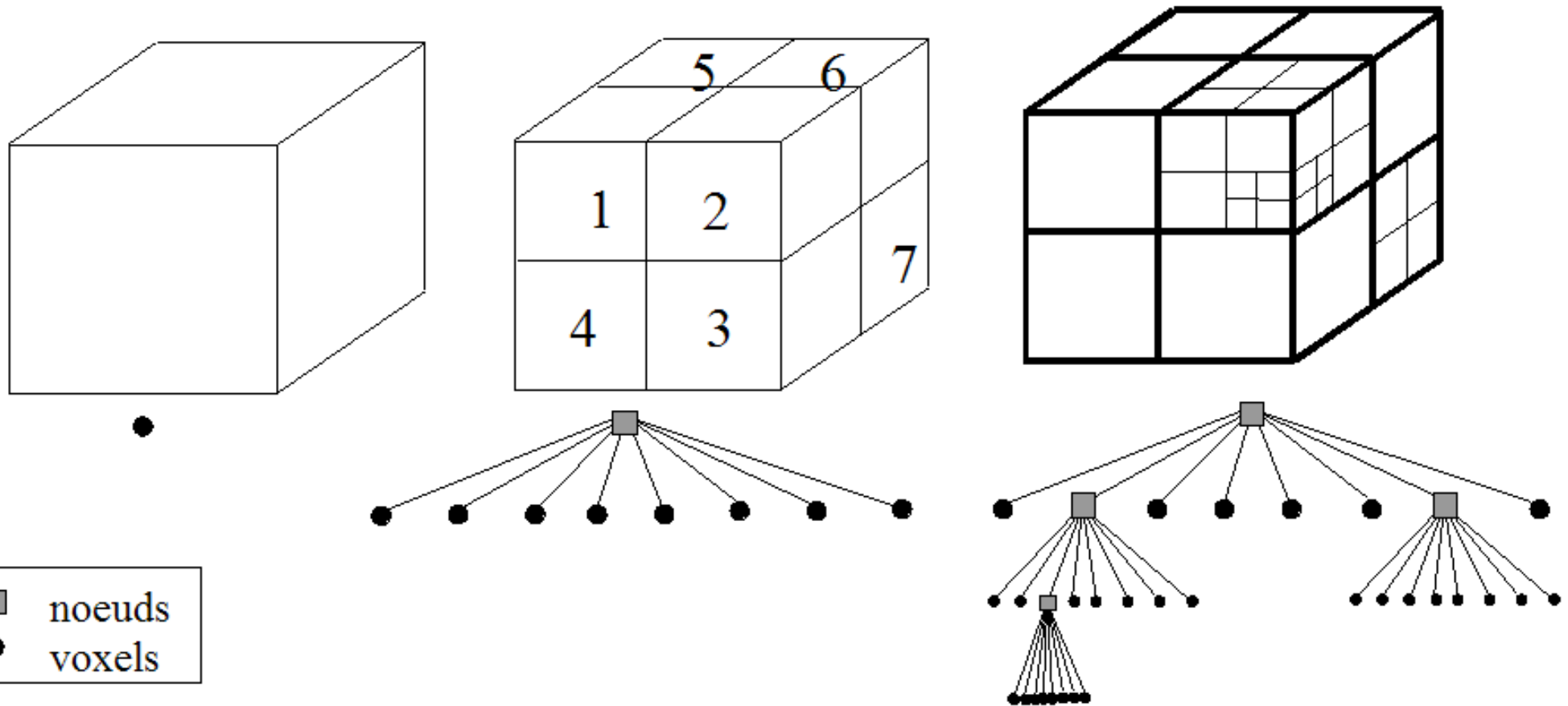
Arbre à huit branches.

Octree régulier : subdivise de façon récursive un volume cubique en huit sous-cubes de tailles égales. Les feuilles de l'octree sont appelées des « voxels ».

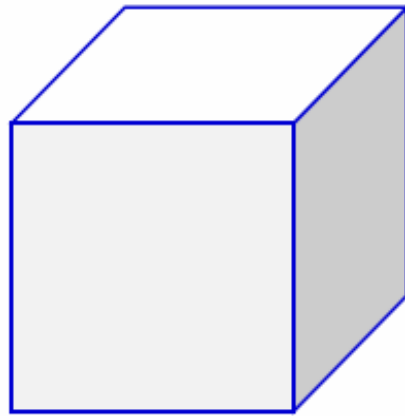


# Modèle volumique : Octree adaptatif

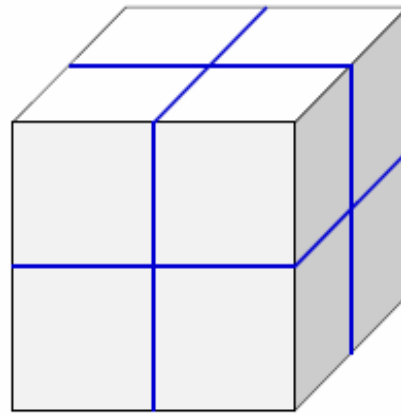
Octree adaptatif, la profondeur de chaque branche peut être de taille différente  
Permet de subdiviser l'espace de départ de façon irrégulière.



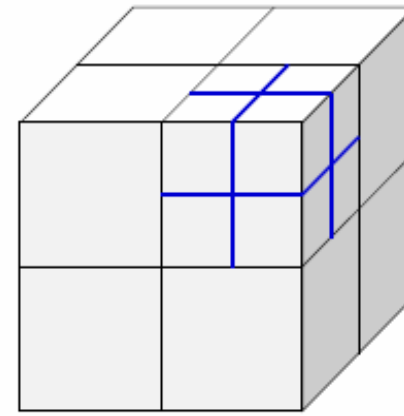
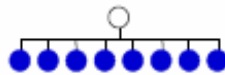
# Modèles Volumiques : Octree adaptatif



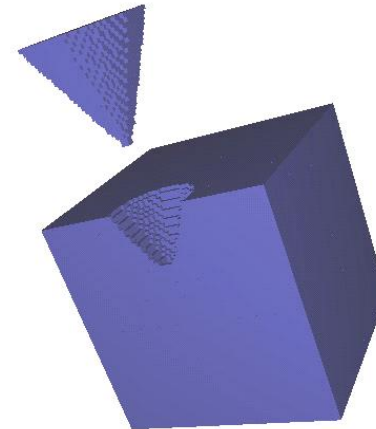
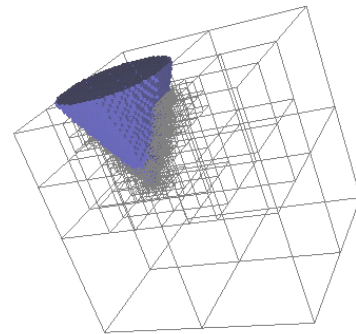
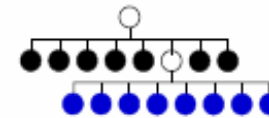
niveau 1



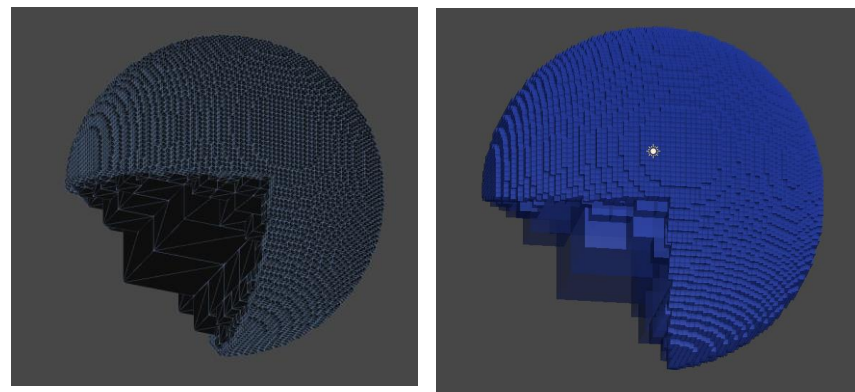
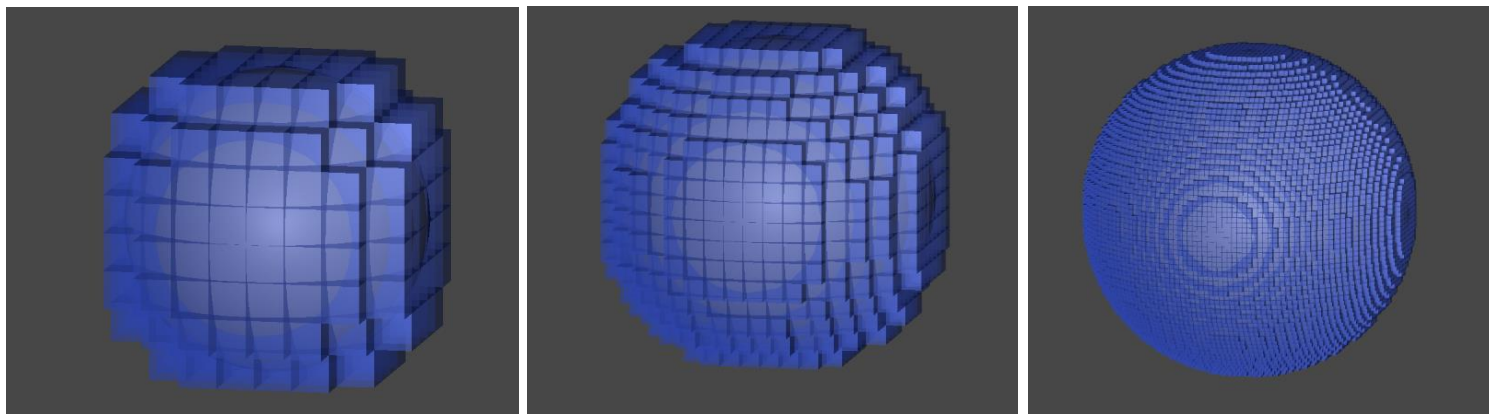
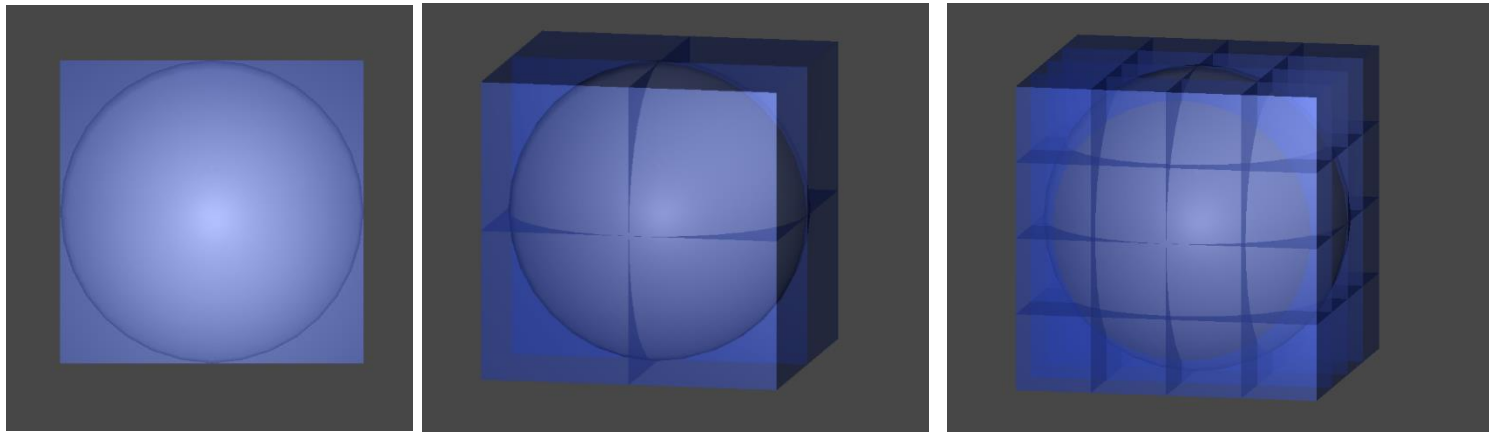
niveau 2



niveau 3



# Illustration Octree sur une sphère



Illustrations : Mathieu Livebardon

# Représentation surfacique par octree

---

- **Octree régulier** : on subdivise jusqu'à la précision souhaitée et
  - soit la cellule n'est pas sécante à la surface et la feuille est vide (valeur 0 par exemple),
  - soit elle est sécante et la feuille est pleine (valeur 1 par exemple).
- **Octree adaptatif** :
  - soit la cellule n'est pas sécante à la surface :
    - c'est une feuille vide de l'octree,
  - soit la cellule est sécante à la surface :
    - si on est au niveau de précision désiré, c'est une feuille pleine de l'octree,
    - sinon, c'est un noeud qui va être subdivisé.

# Représentation volumique par octree

---

- **Octree régulier** : on subdivise jusqu'à la précision souhaitée et
  - soit elle est sécante et la feuille est pleine (valeur 0 par exemple).,
  - soit elle est à l'intérieure de l'objet et elle vaut 1 par exemple,
  - soit elle est à l'extérieure de l'objet et elle vaut -1 par exemple.
- **Octree adaptatif** :
  - soit la cellule est sécante à la surface : si on est au niveau de précision désiré, c'est une feuille pleine de l'octree, sinon, c'est un noeud qui va être subdivisé,
  - soit la cellule n'est pas sécante à la surface : c'est soit une feuille « extérieure », soit une feuille « intérieure ».



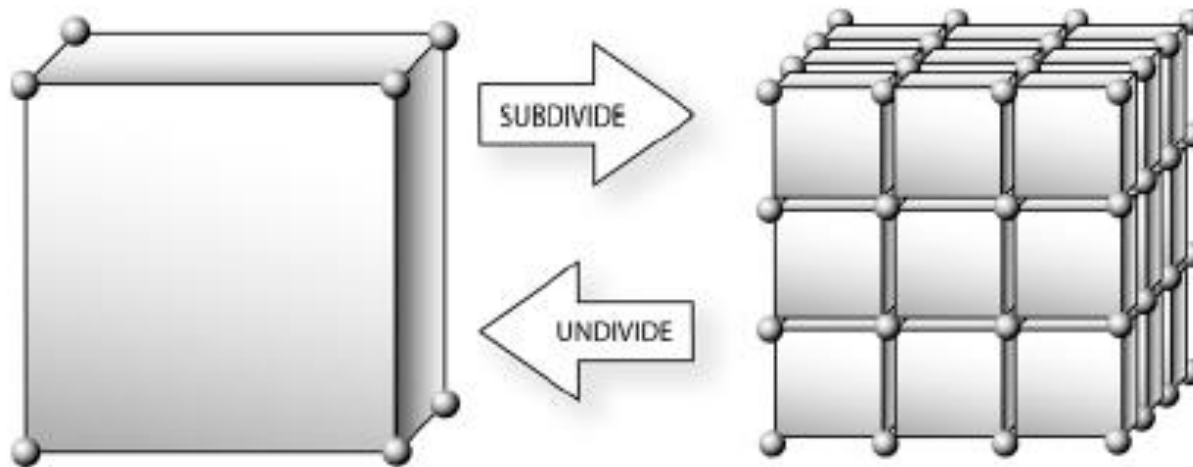
# Octree : +/-

---

- Les +
  - Représentation hiérarchique de l'objet : il peut être affiché à différentes résolutions.
  - Possibilité de représentation volumique.
  - Simplicité de positionnement d'un volume par rapport à l'objet : sécant ou non (éventuellement intérieur/extérieur).
  - Construction et parcours récursifs simples.
- Les -
  - Visualisation surfacique des voxels ?
  - Rendu temps réel pour des scènes complexes ?
  - Coup de stockage excessif.

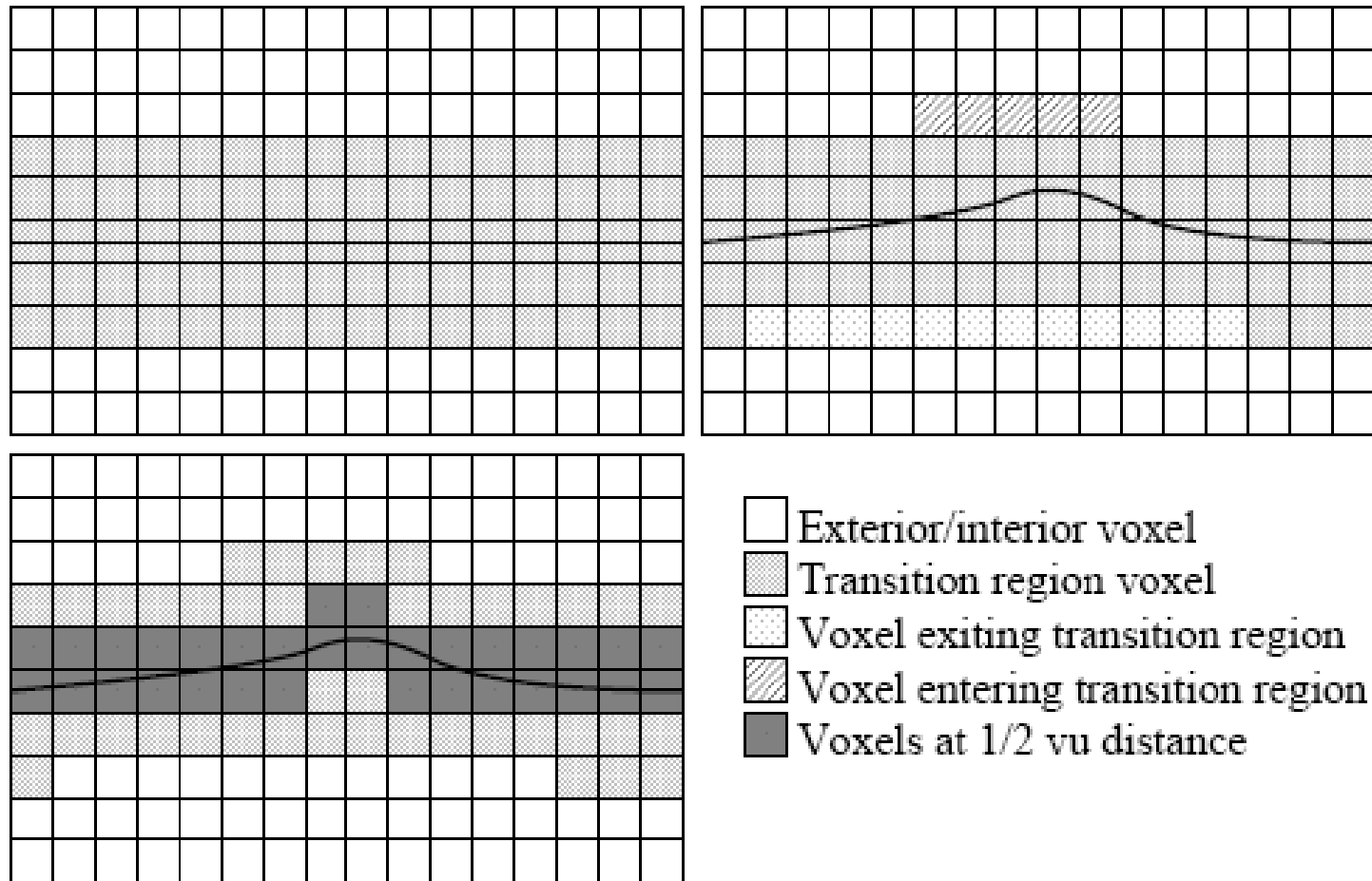
# Modèles Volumiques : n-tree

- Réduire encore le nombre de cubes



# Modèles Volumiques : Level Set

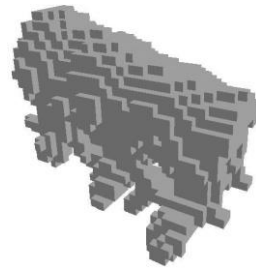
- Réduire encore le nombre de cubes (Level Set)
  - Volume stocké dans une grille hiérarchique sur deux niveaux.



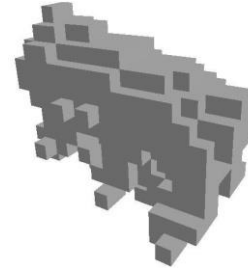
# Modèles Volumiques : ondelettes



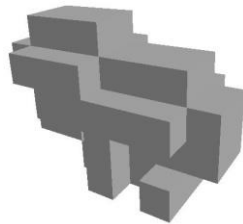
Niveau 0  
64×64×64



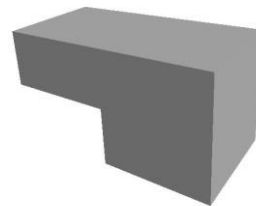
Niveau 1  
32×32×32



Niveau 2  
16×16×16



Niveau 3  
8×8×8



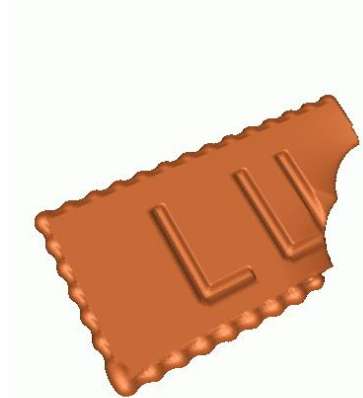
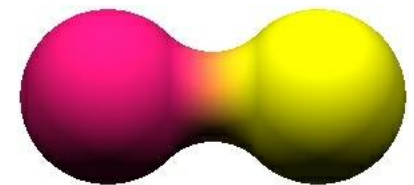
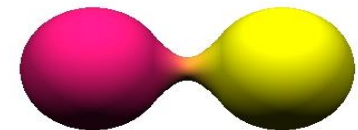
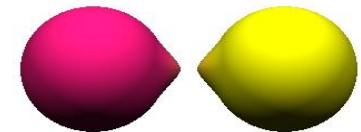
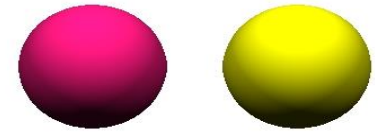
Niveau 4  
4×4×4

# Modèles volumiques : surfaces implicites

$$S = \{ P(x,y,z) \mid f(x,y,z) = iso \}$$

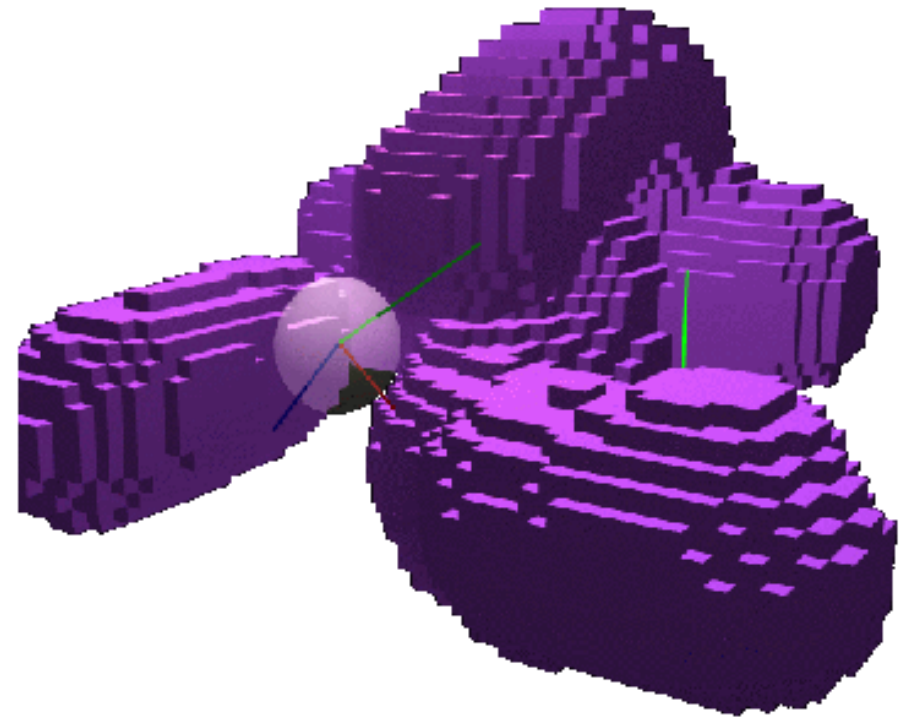
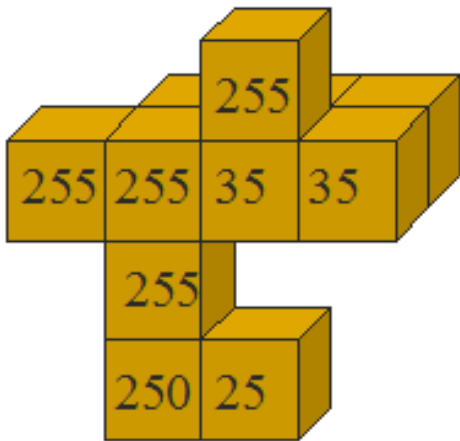
Intérêt : Combiner des éléments

- union :  $f = \max(f_1, f_2)$
- Intersection :  $f = \min(f_1, f_2)$
- « mélange » :  $f = f_1 + f_2$



# Modèles volumiques : Surfaces implicites

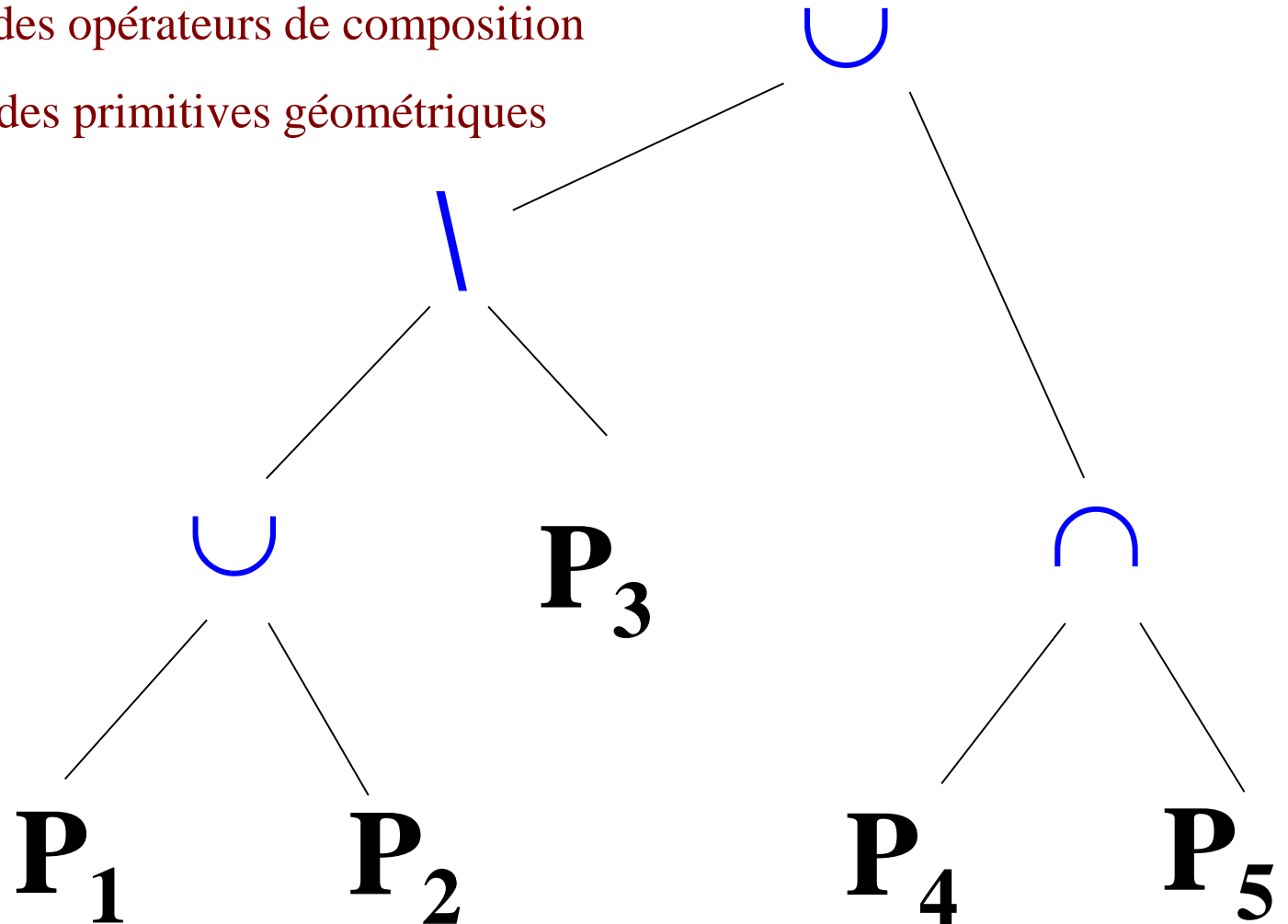
## Surfaces implicites discrètes



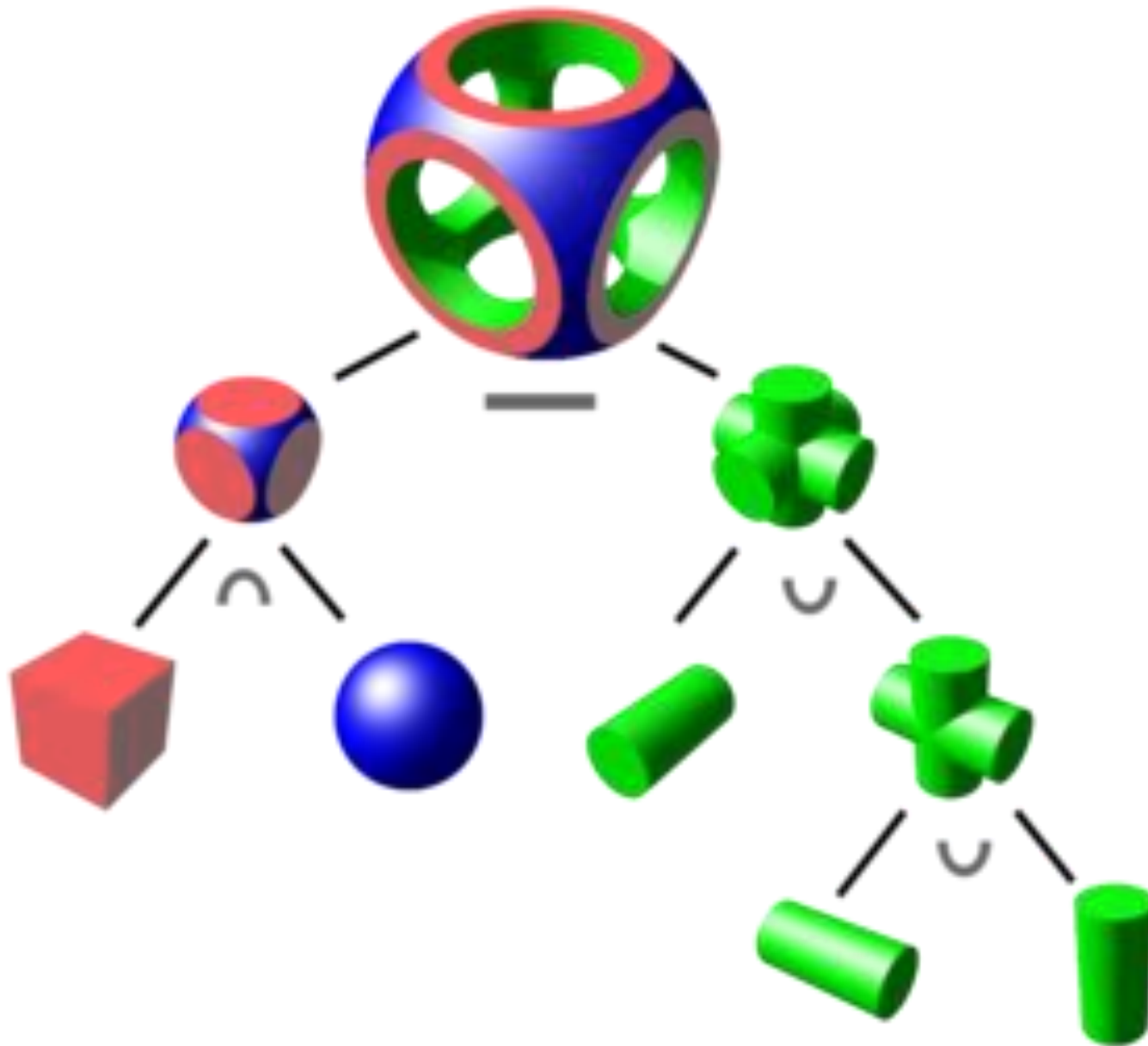
# Modèles volumiques : Arbres CSG

Constructive Solid Geometry : arbre de composition

- Les noeuds sont des opérateurs de composition
- Les feuilles sont des primitives géométriques



# Modèles volumiques : Arbres CSG

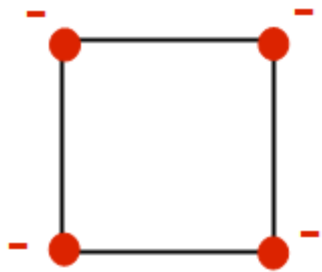




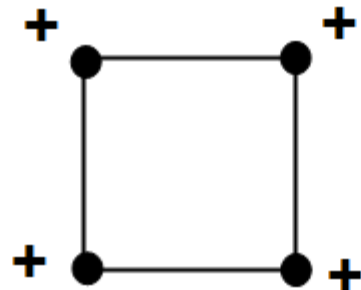
# Passage du volumique vers surfacique

## Algorithme du marching cube

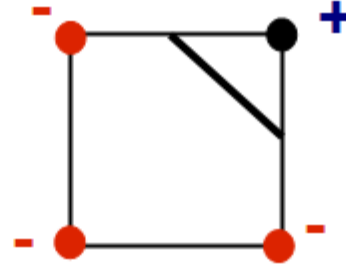
- Illustration en 2D



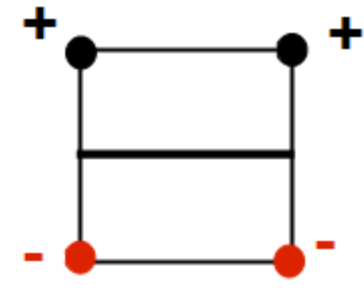
Non sécant



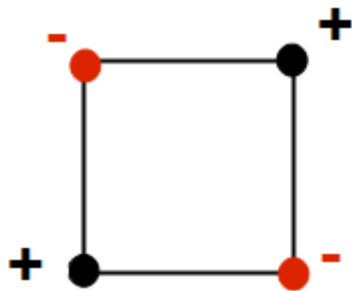
Non sécant



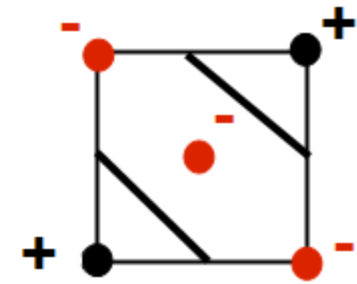
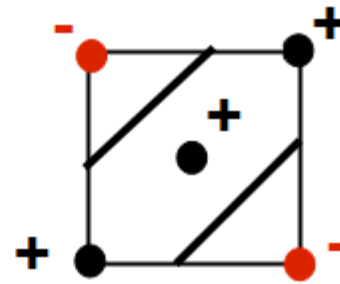
Sécant



Sécant

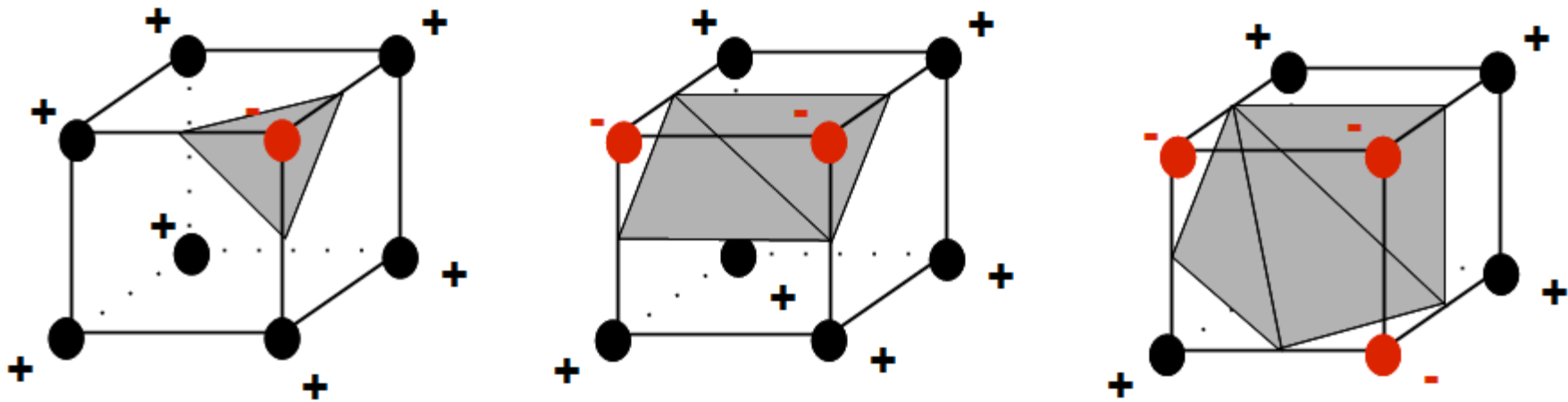


Sécant et indétermination

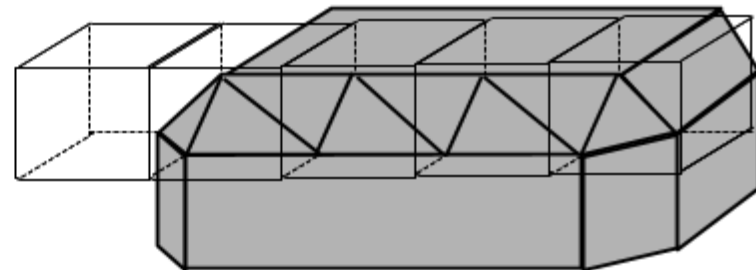
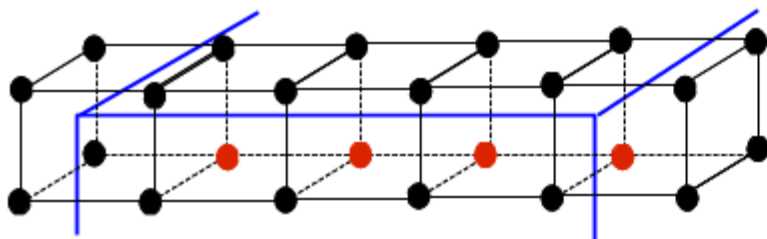


# Passage du volumique vers surfacique

- En 3D, après exploitation des symmétries, il reste 14 cas différents. Exemples :



- A partir d'un ensemble de cellules intersectant une surface, on obtient un maillage triangulaire de la surface.
- Problème des arêtes franches :




# Extended marching cube

- Pour reconstruire correctement les arêtes, il existe des version étendues du marching cube [1]. En général, ces méthodes utilisent:

- Le calcul d'intersection entre une arête et la surface est effectué par interpolation linéaire:

$P? \text{ tel que } f(P) = 0$



$f(P_1) = a$   
 $a < 0$

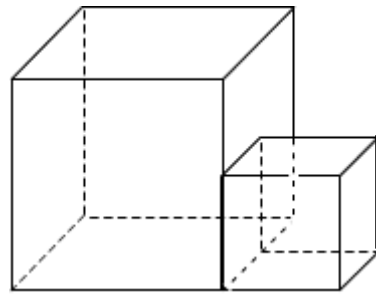
$f(P_2) = b$   
 $b > 0$

$$P = \frac{b}{b-a} P_1 + \frac{-a}{b-a} P_2$$

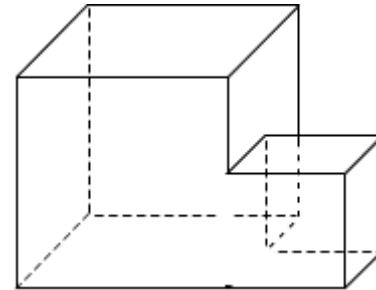
- La normale à la surface est évaluée aux points d'intersection
  - On maille le cube à partir des plans passant par les points d'intersection (ayant comme normale la normale à la surface au point)
- [1] L. Kobbelt et al. "Feature Sensitive Surface Extraction from Data Volume". SIGGRAPH 2001

# Modèle B-Rep

- Boundary-Representation
  - Un modèle est représenté par ses bords
  - Pas de notion de volume
  - On peut représenter des solides



B-Rep quelconque



B-Rep Solide