

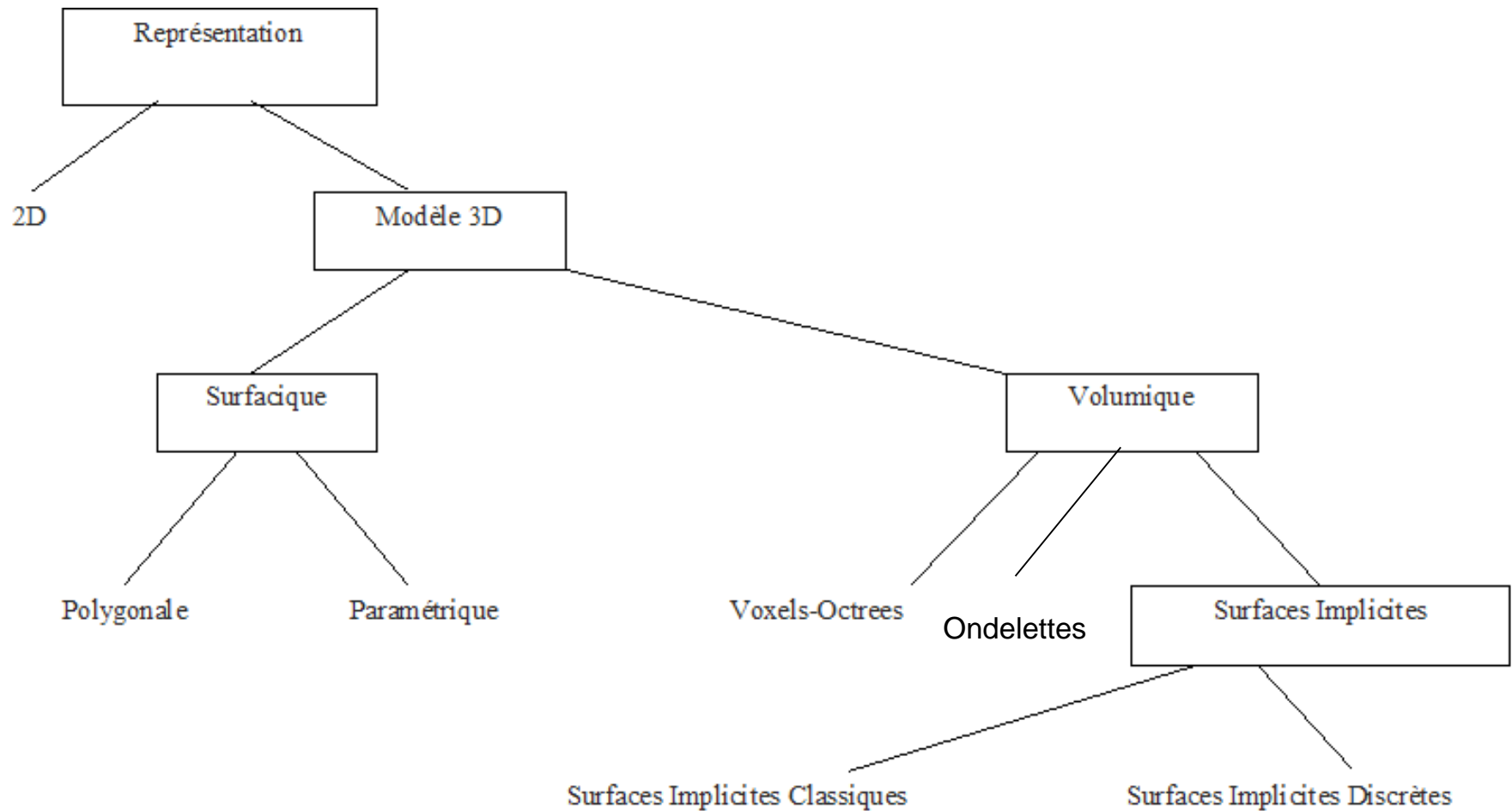
CHAPITRE 05

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

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...

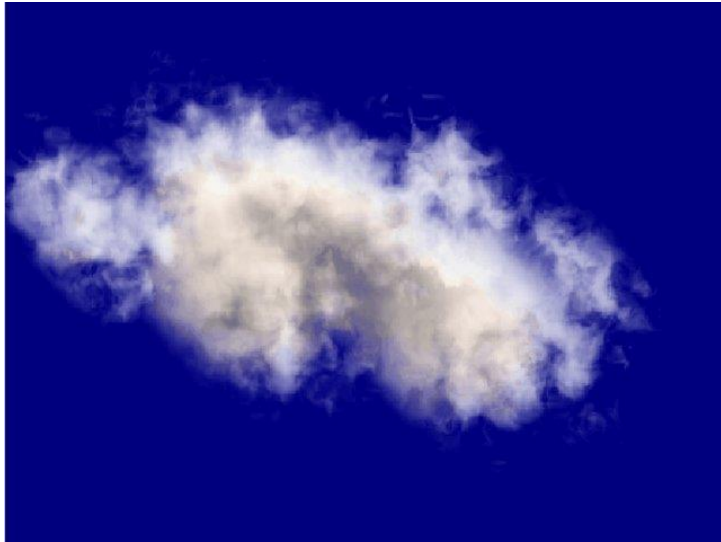
Infiniminer est un [jeu vidéo indépendant](#) de type [bac à sable](#) en [multijoueur](#) conçu par [Zachary Barth](#). Sorti en [2009](#), le jeu propose au joueur d'incarner un personnage se mouvant dans un univers en trois dimensions, représenté par des cubes, la représentation du décor utilisant 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

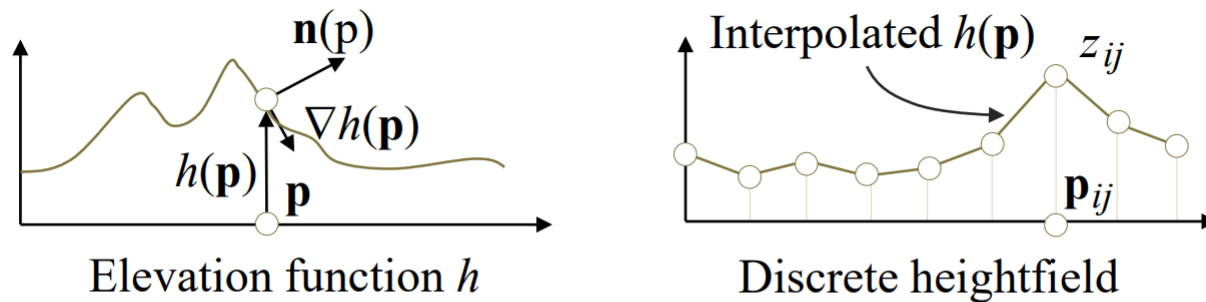


Figure 1: *Elevation can be represented by an analytic or procedurally defined function, or by discrete heightfield data, in which case the elevation at any point is reconstructed by interpolation.*

Pourquoi des Terrains volumiques

Représentation surfacique usuelle : modèle en couches

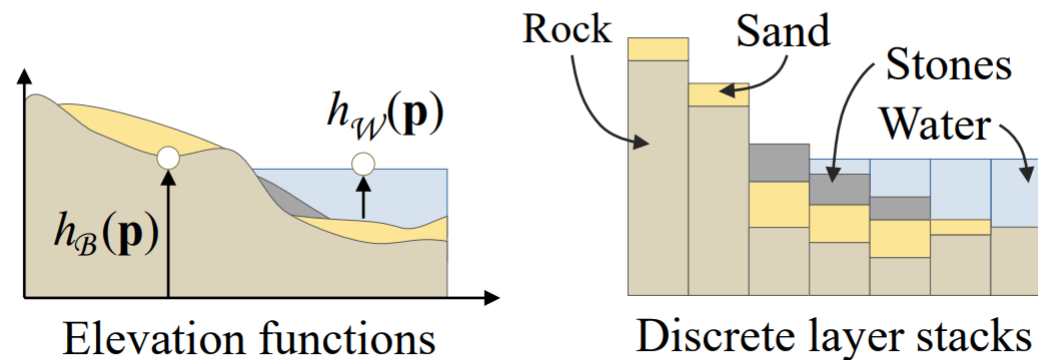


Figure 2: *Layered models represent different types of materials organized in a predefined sorting order (bedrock, then sand and rocks, followed by water).*

Pourquoi des Terrains volumiques

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

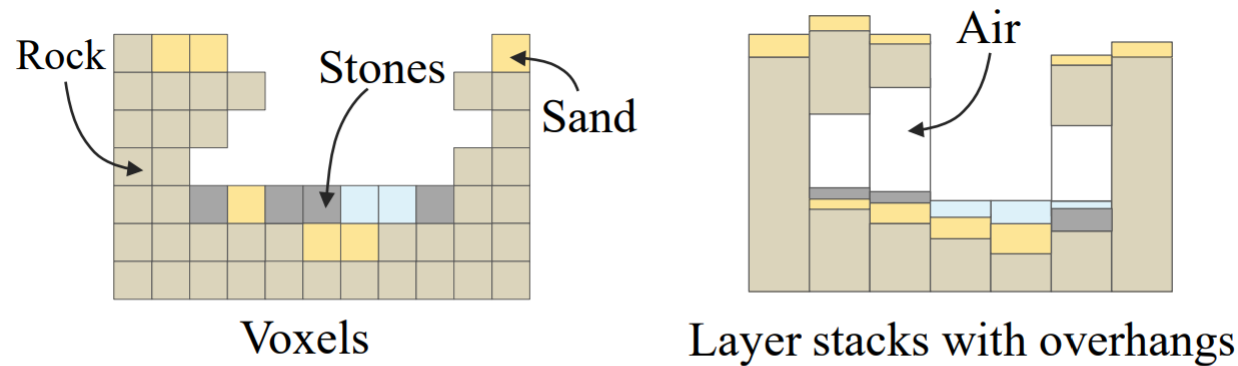


Figure 3: *Voxel representations allow the modeling of arches, caves or overhangs, but are limited by their discrete nature.*

Exemples de terrains volumiques

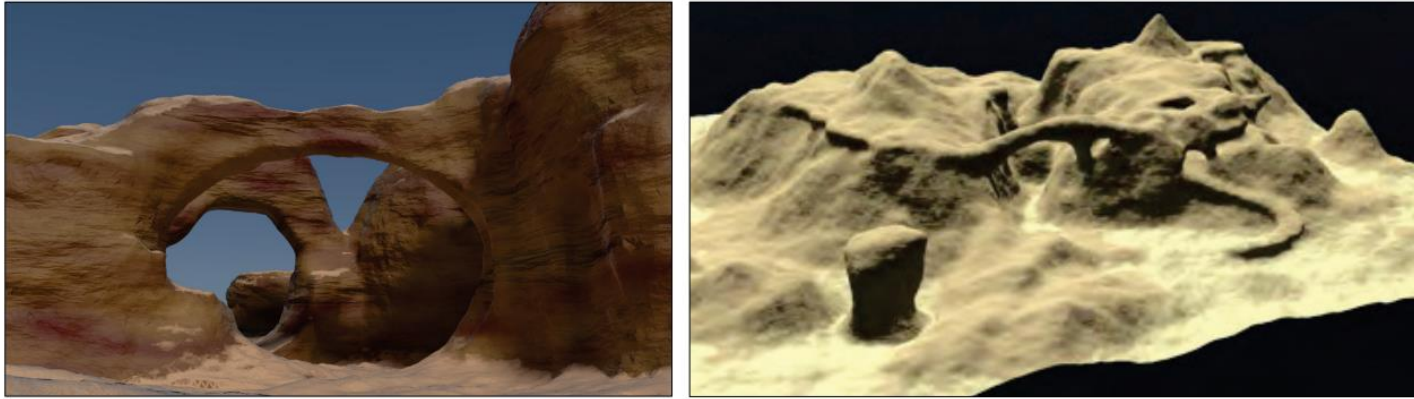


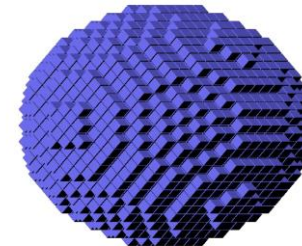
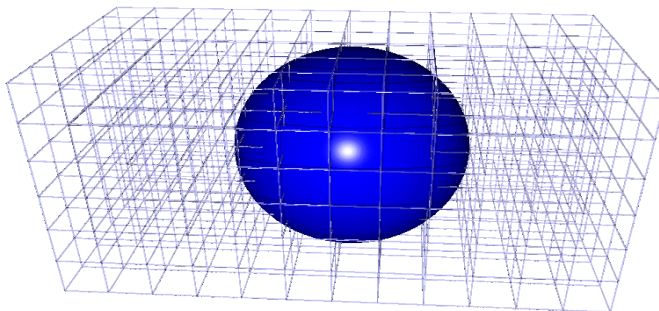
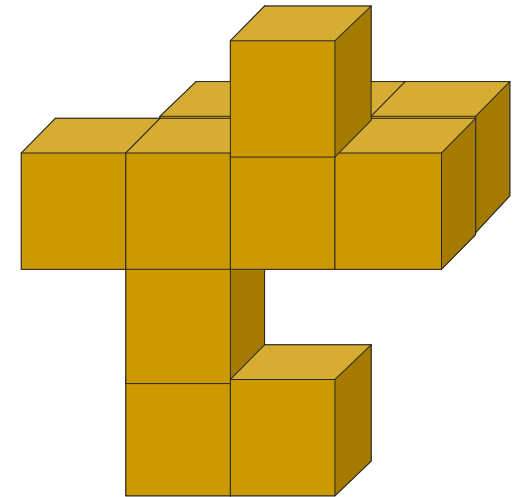
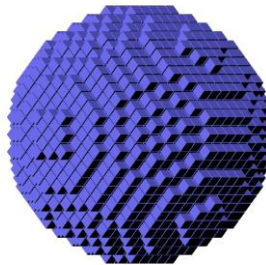
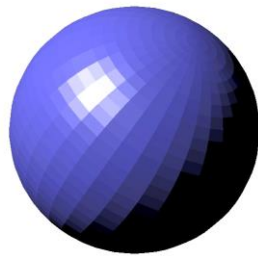
Figure 15: *Example of volumetric terrains featuring arches and overhangs produced by 3D curves (from [BKRE17, BKRE18]).*



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

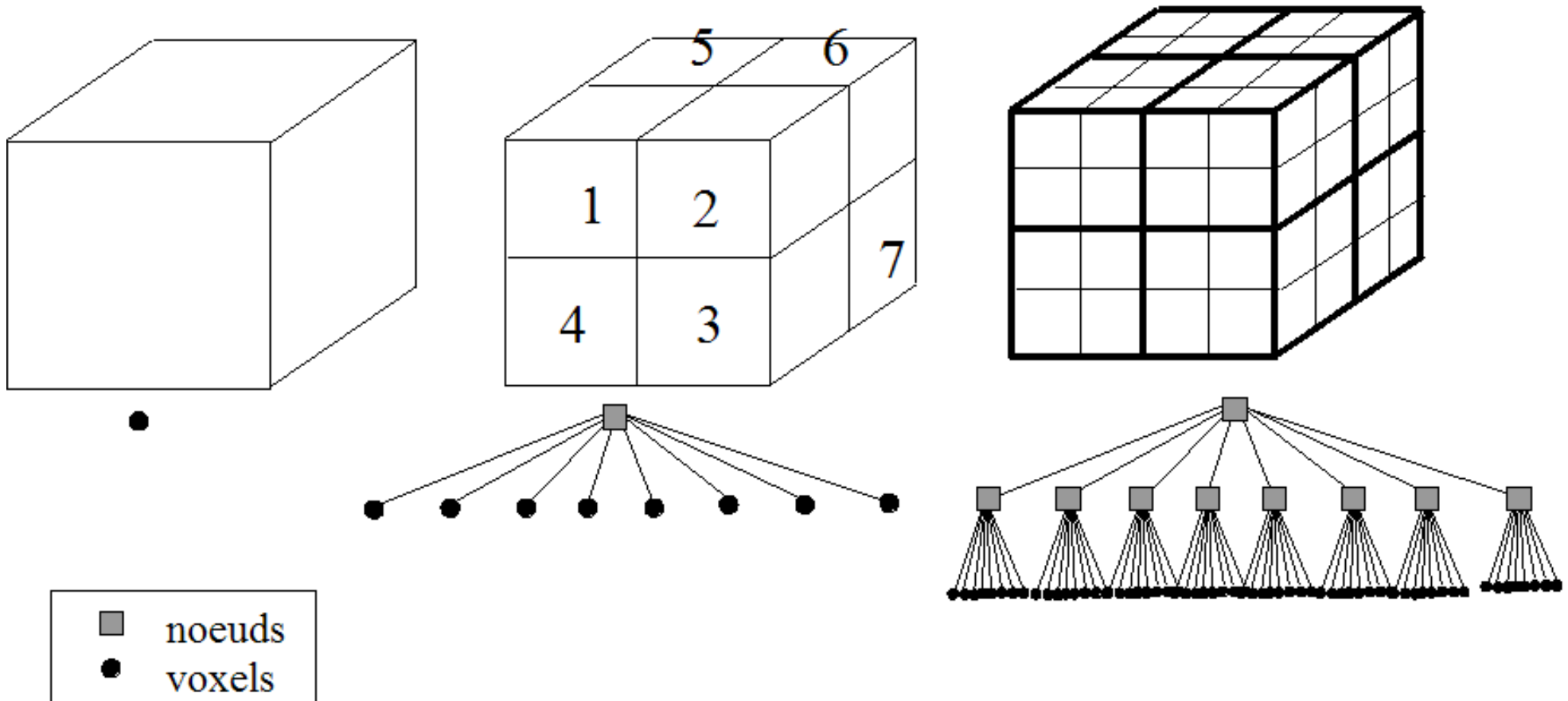
- Volumes discrets
 - Voxel = éléments d'une grille 3D
 - Présence ou absence de matière



Modèle volumique : octree régulier

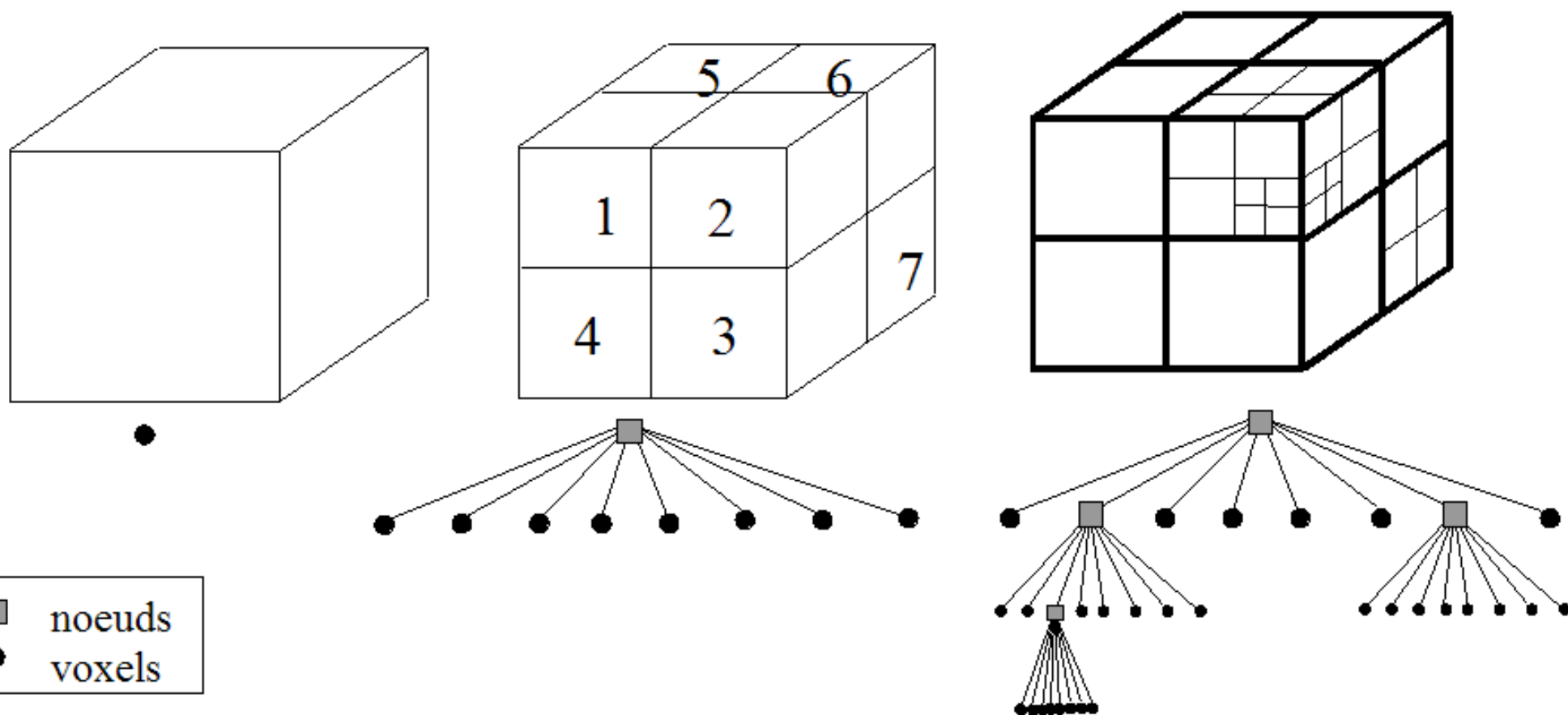
Arbre à huit branches.

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 ».

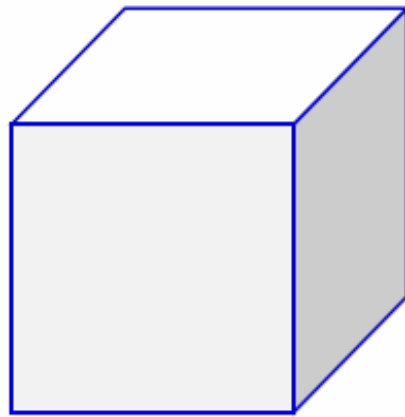


Modèle volumique : Octree adaptatif

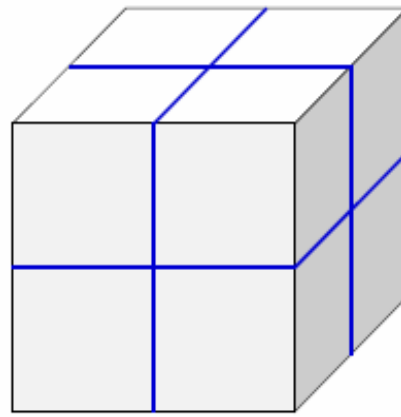
Octree adaptatif, la profondeur de chaque branche peut être de taille différente
Permet de subdiviser l'espace de départ de façon irrégulière.



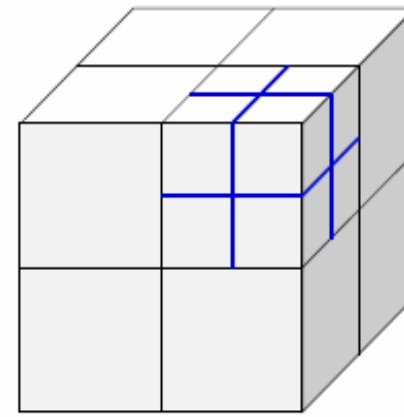
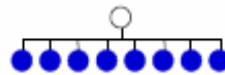
Modèles Volumiques : Octree adaptatif



niveau 1



niveau 2



niveau 3

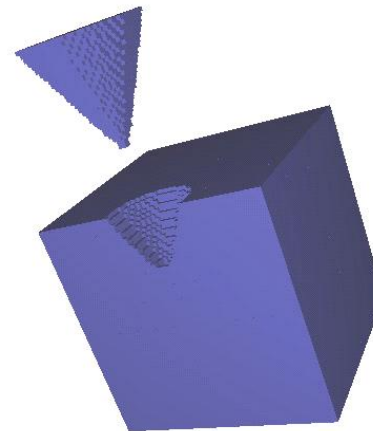
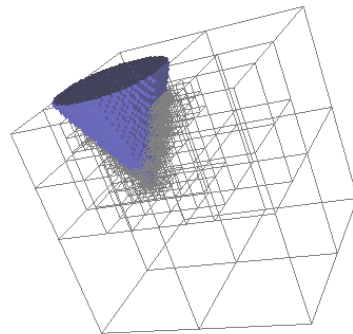
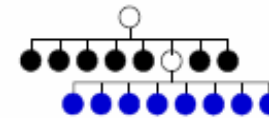
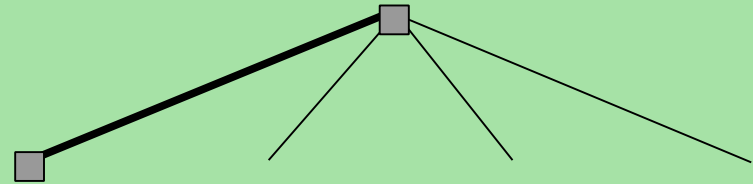
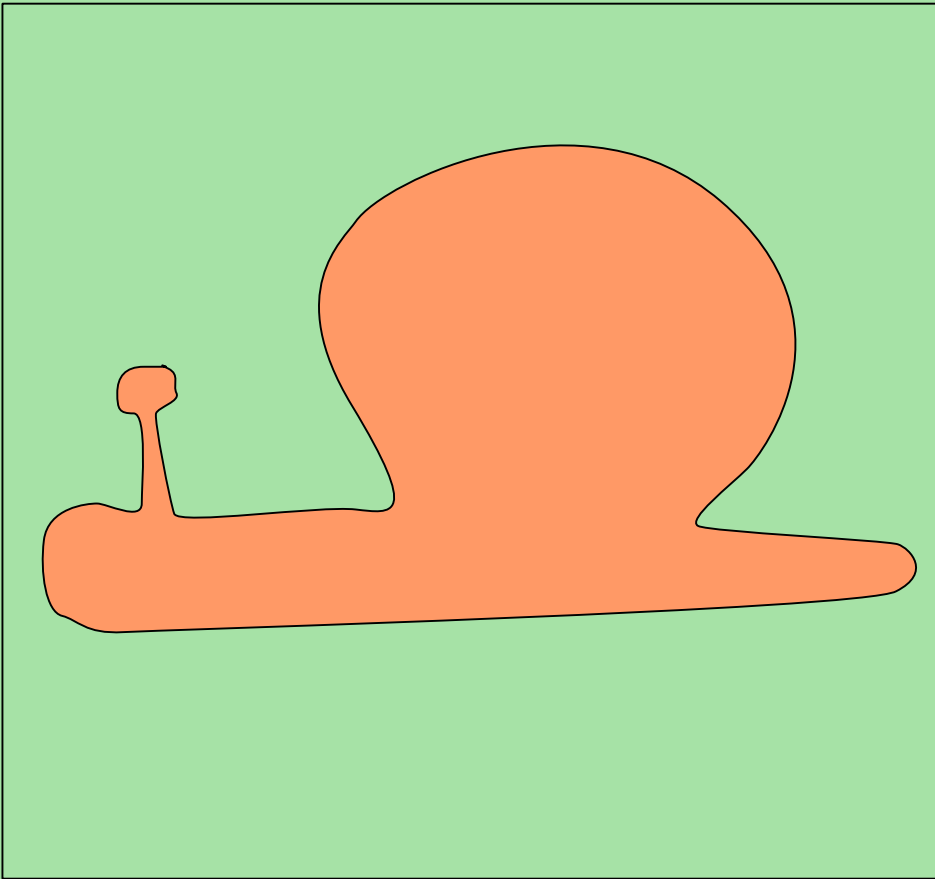


Illustration sur un quadtree

- Un quadtree est un arbre à quatre branches. C'est l'équivalent de l'octree en deux dimensions.
 - Dessinez les feuilles du quadtree adaptatif de profondeur quatre représentant l'objet ci-dessous.
 - Représentez le quadtree sous forme d'arbre en supposant que l'on a une représentation « volumique » de l'objet (ne développez que la 1^{ère} branche).



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

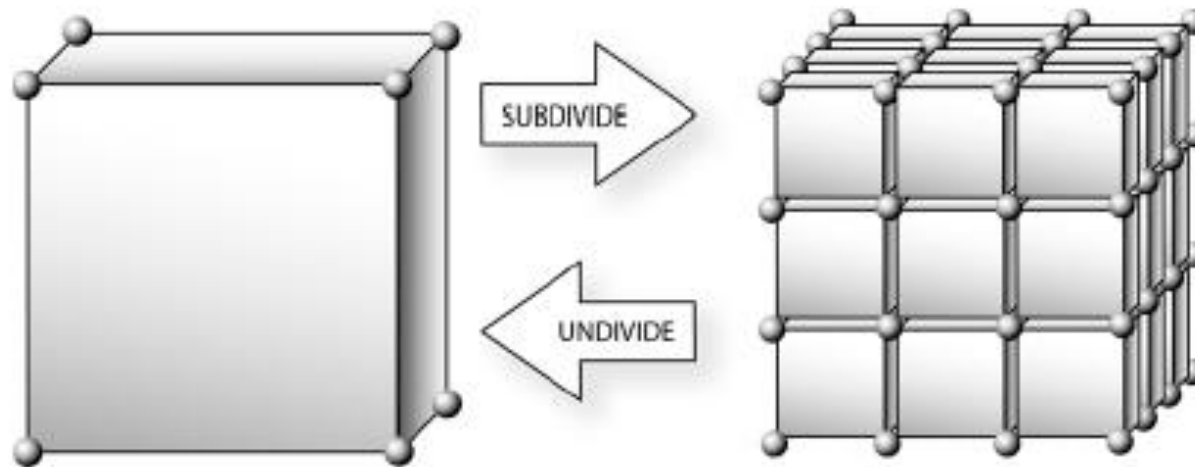
- **Octree régulier** : on subdivise jusqu'à la précision souhaitée et
 - soit elle est sécante et la feuille est pleine (valeur 0 par exemple).,
 - soit elle est à l'intérieure de l'objet et elle vaut 1 par exemple,
 - soit elle est à l'extérieure de l'objet et elle vaut -1 par exemple.
- **Octree adaptatif** :
 - 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.

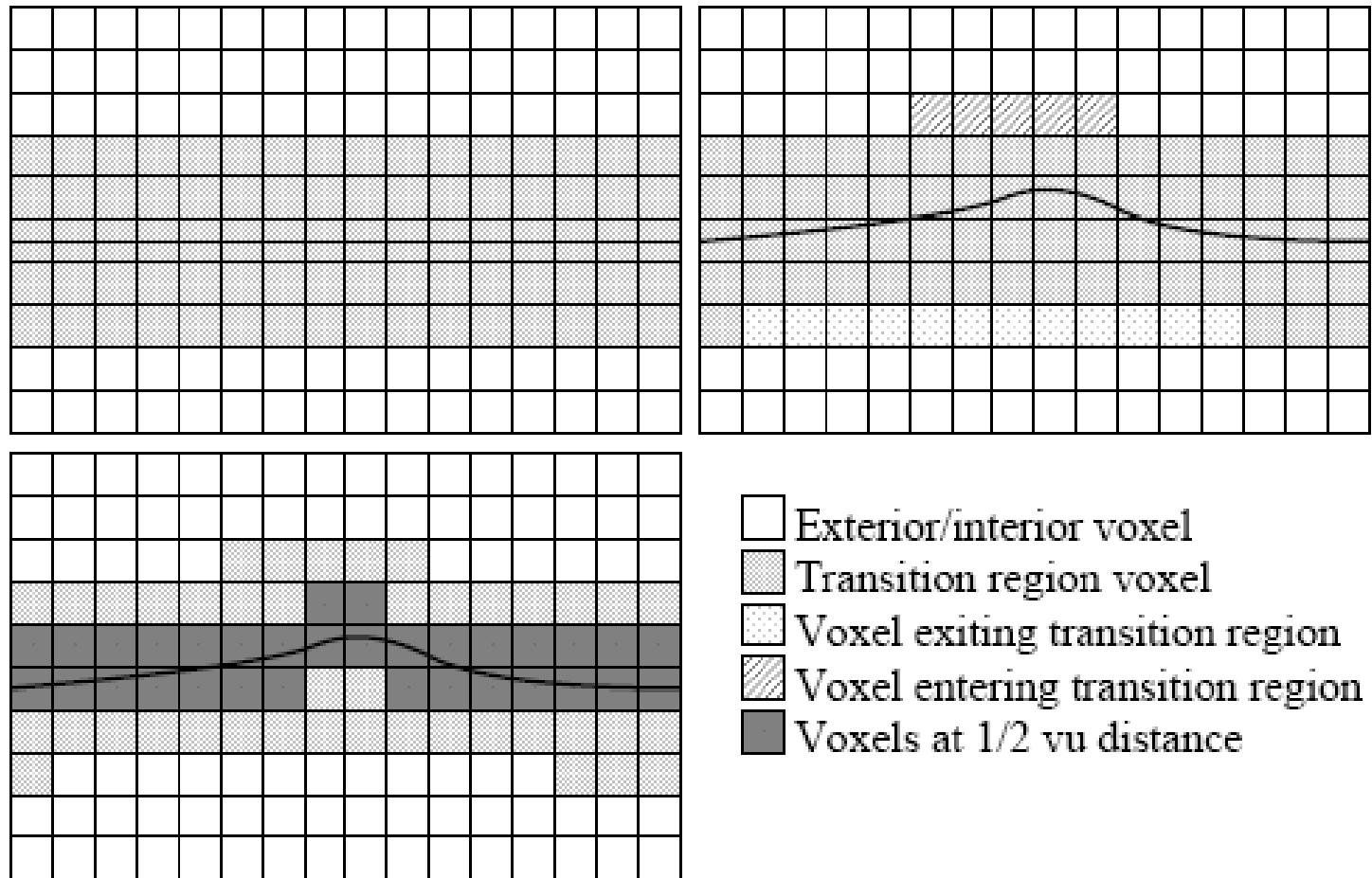
Modèles Volumiques : n-tree

- 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.



Modèle volumique basé ondelette

Énumération uniforme

Matrice 3D

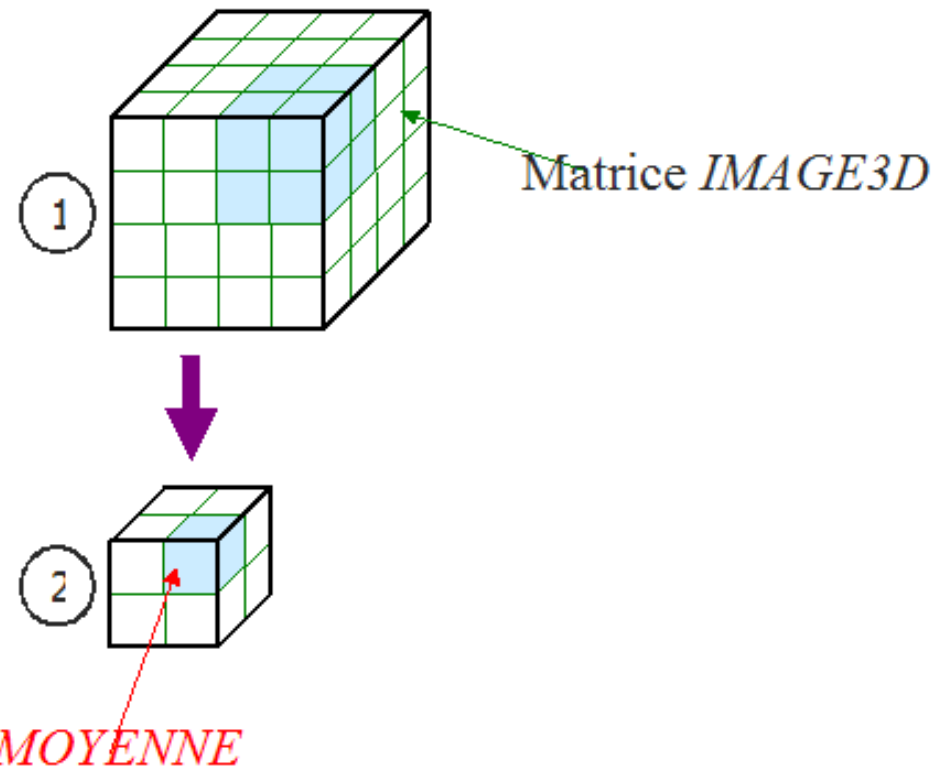
Données : binaire ou niveau de gris

Énumération par ondelettes

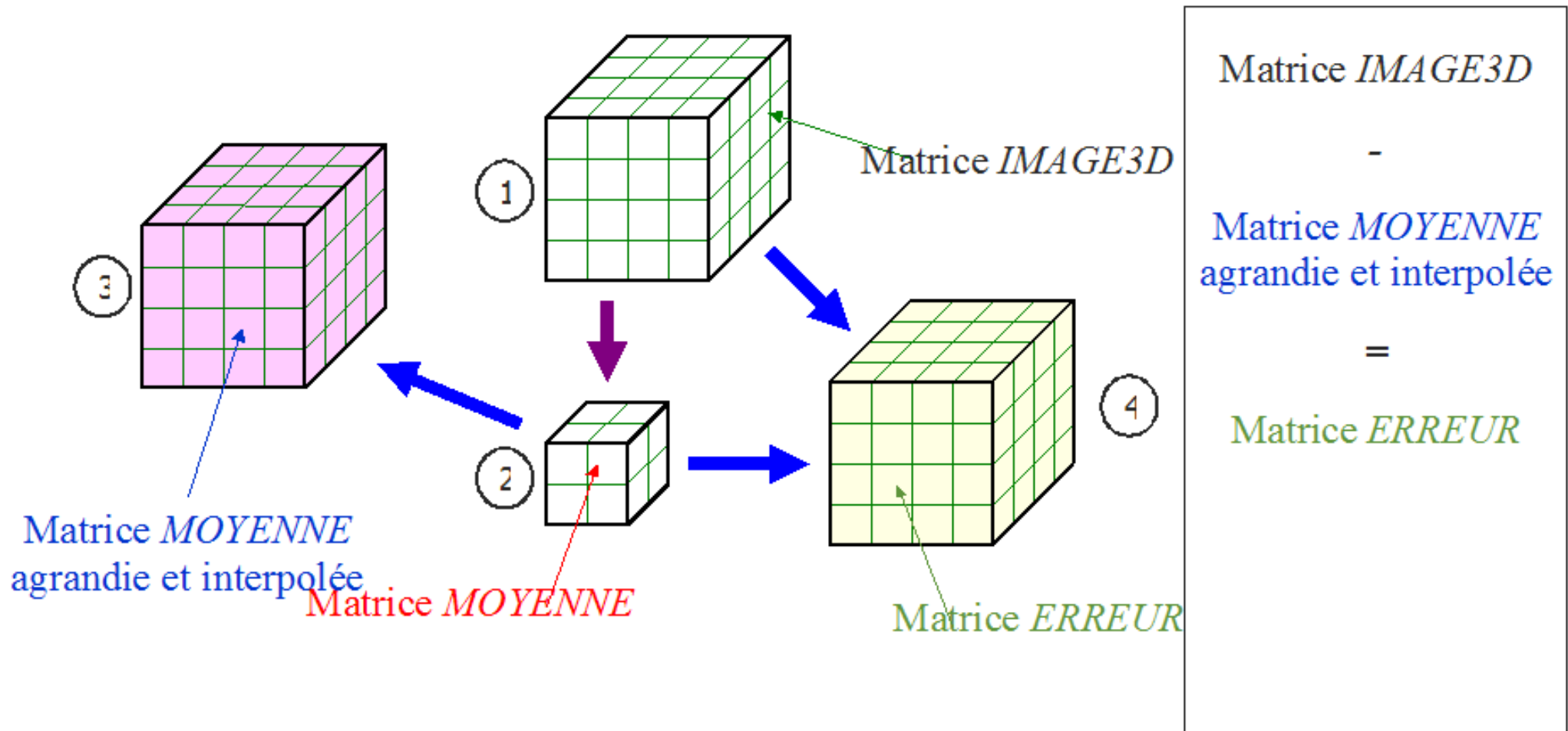
Matrices ERREUR

Matrice REDUC

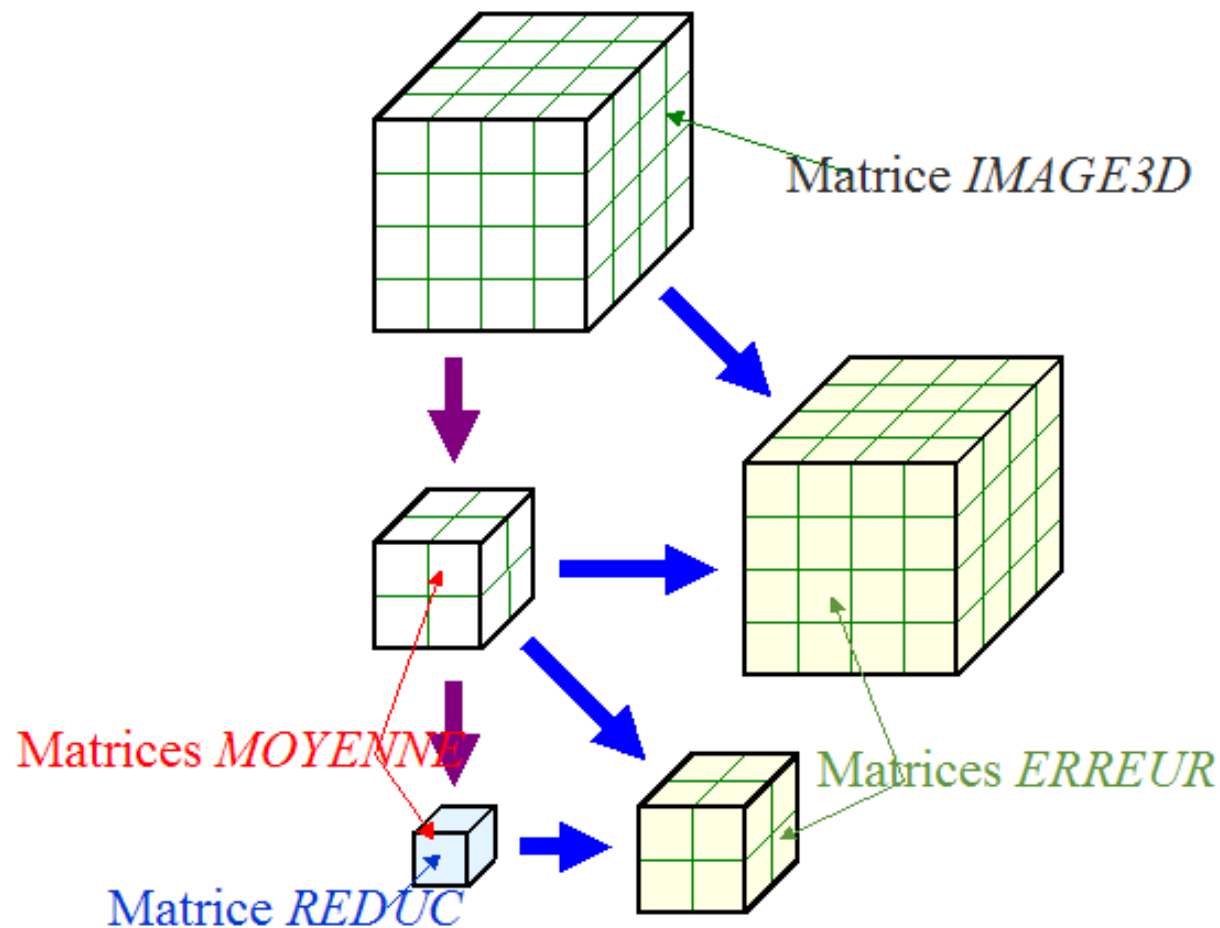
Niveau : n



Modèle volumique basé ondelette

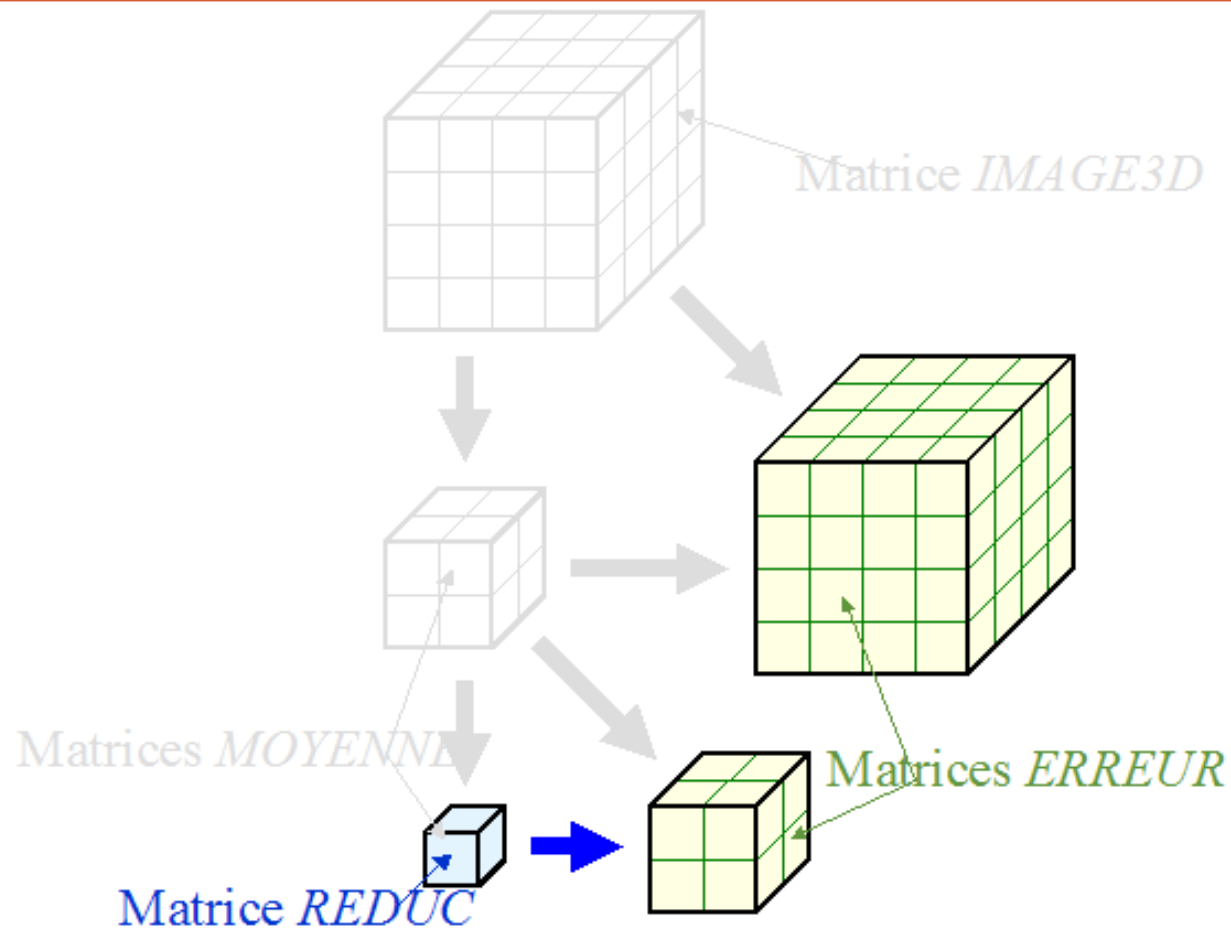


Modèle volumique basé ondelette



Modèle volumique basé ondelette

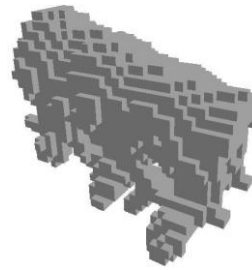
On ne code en mémoire que la matrice REDUC et les matrices ERREUR.



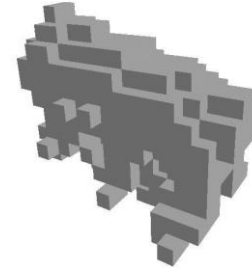
Modèles Volumiques : ondelettes



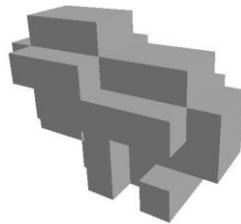
Niveau 0
 $64 \times 64 \times 64$



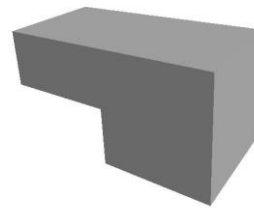
Niveau 1
 $32 \times 32 \times 32$



Niveau 2
 $16 \times 16 \times 16$



Niveau 3
 $8 \times 8 \times 8$



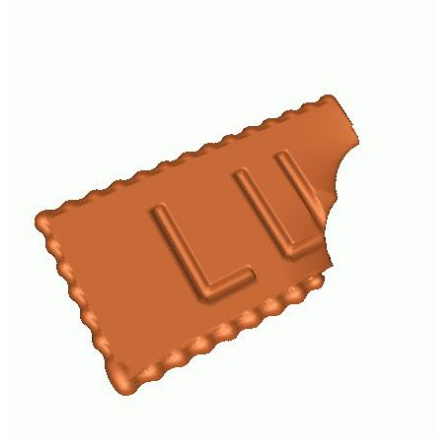
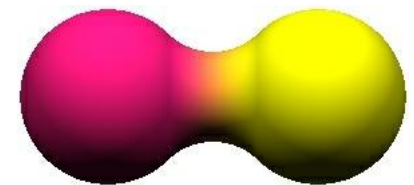
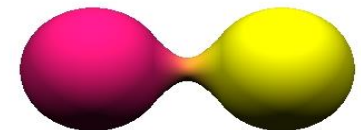
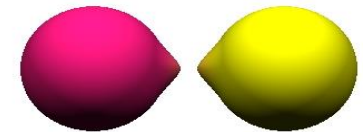
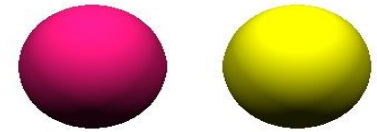
Niveau 4
 $4 \times 4 \times 4$

Modèles volumiques : surfaces implicites

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

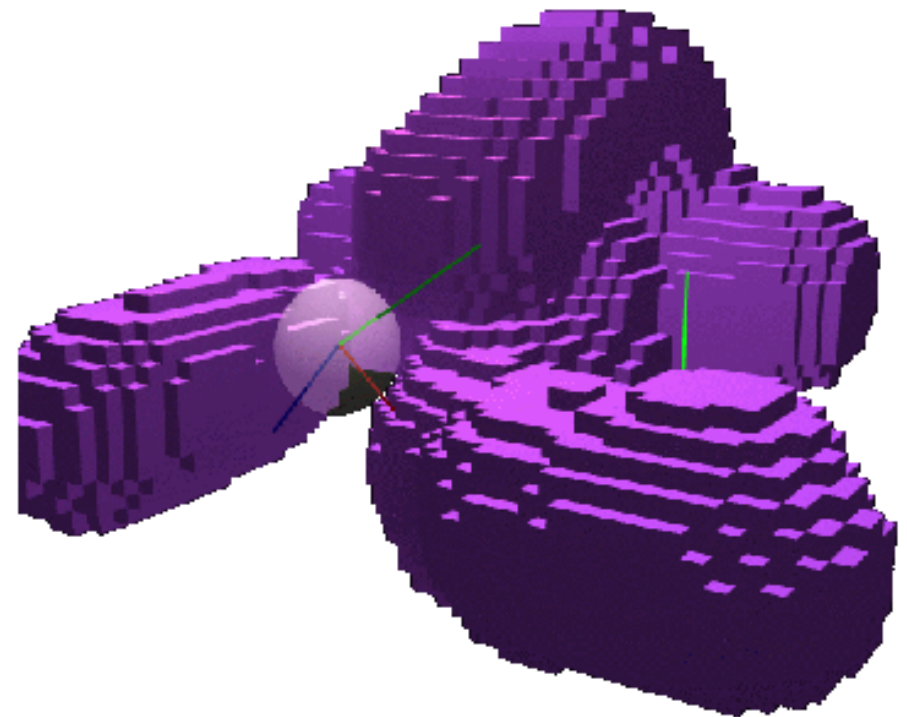
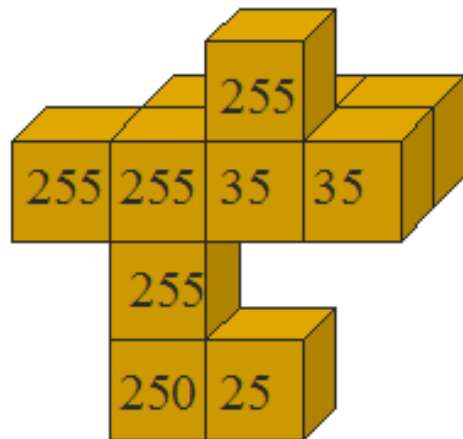
Intérêt : Combiner des éléments

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



Modèles volumiques : Surfaces implicites

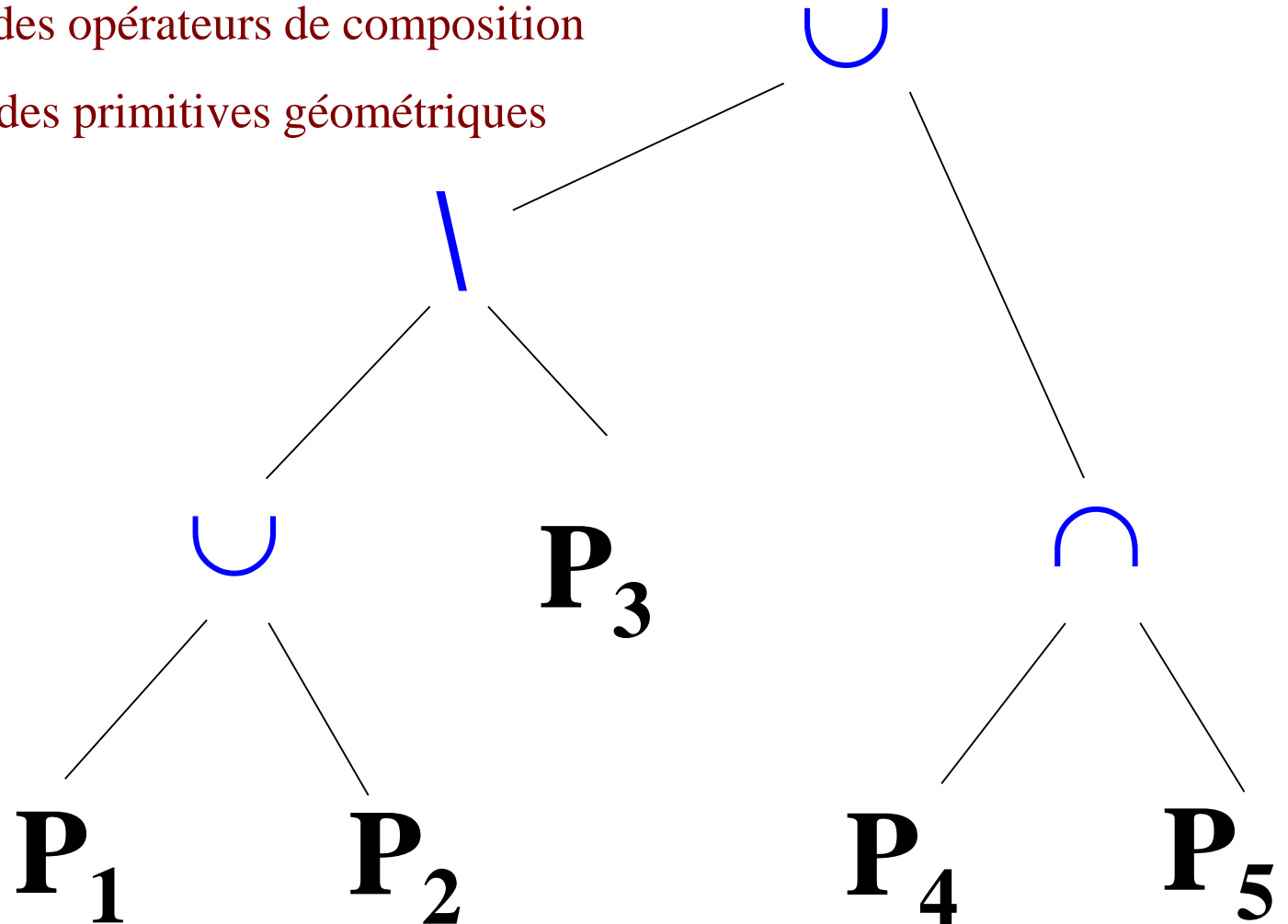
Surfaces implicites discrètes



Modèles volumiques : Arbres CSG

Constructive Solid Geometry : arbre de composition

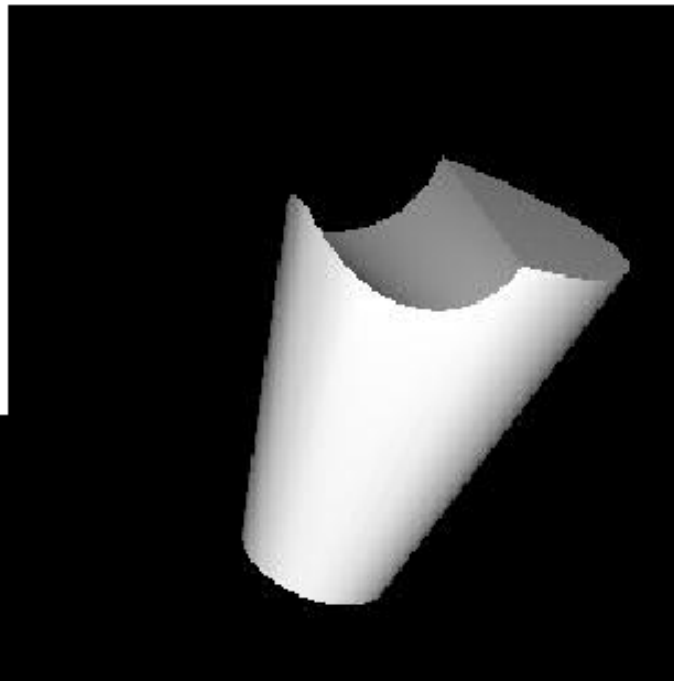
- Les noeuds sont des opérateurs de composition
- Les feuilles sont des primitives géométriques



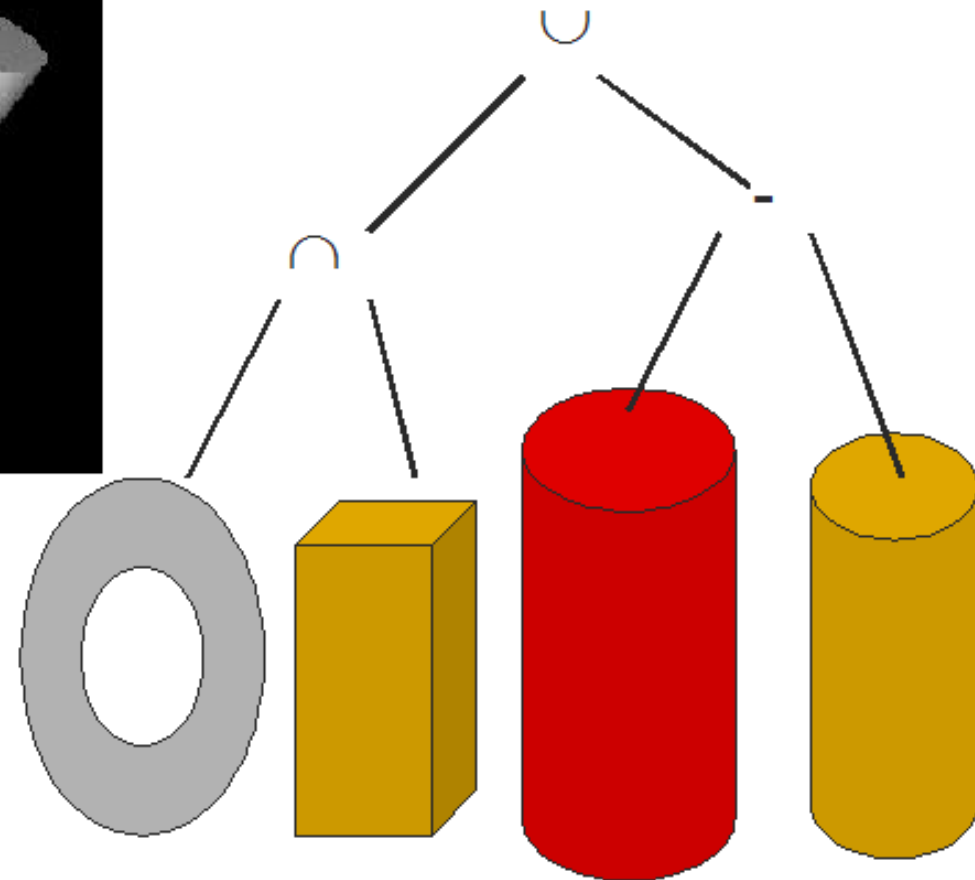
Modèles volumiques : Arbres CSG

Exemple avec 2 primitives :

Union



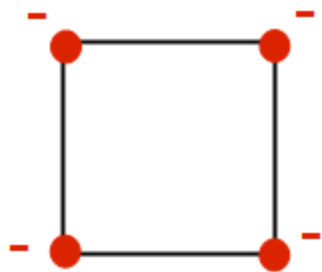
Différence



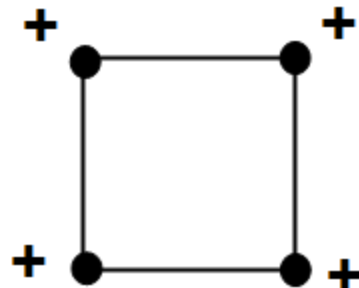
Passage du volumique vers surfacique

Algorithme du marching cube

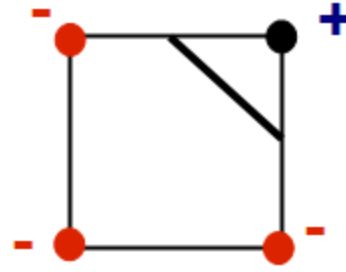
- Illustration en 2D



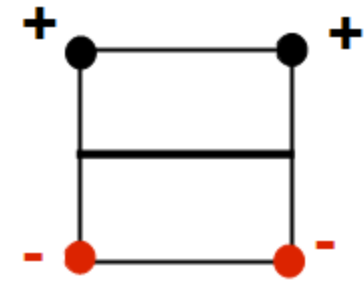
Non sécant



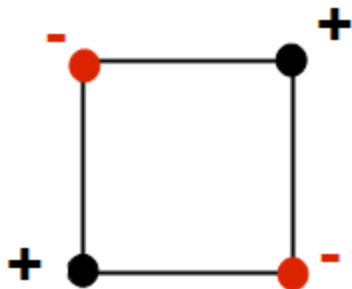
Non sécant



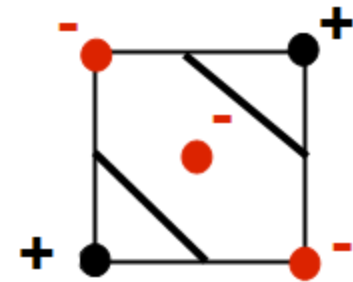
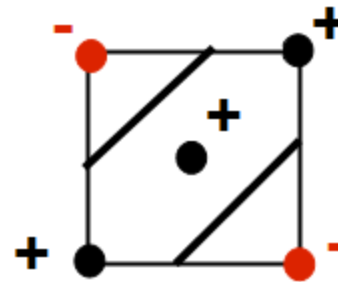
Sécant



Sécant

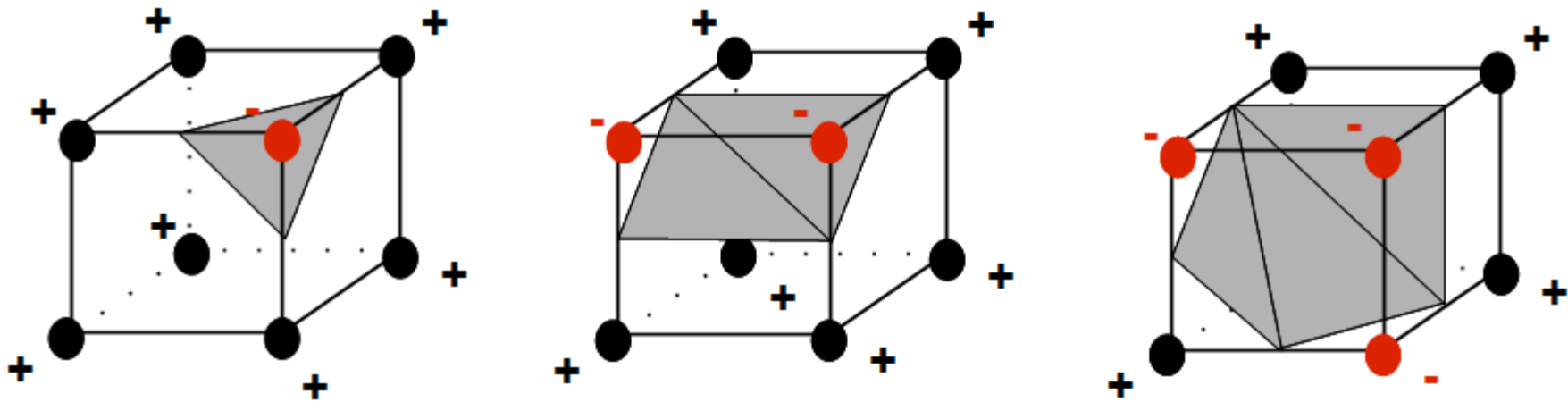


Sécant et indétermination

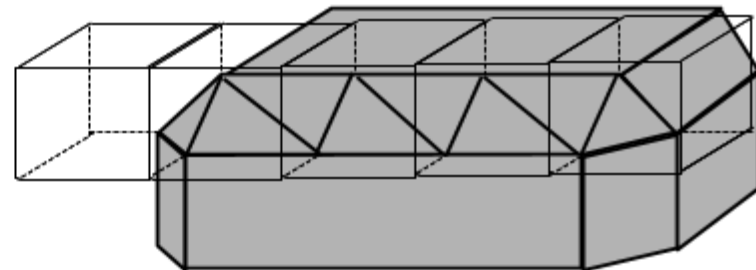
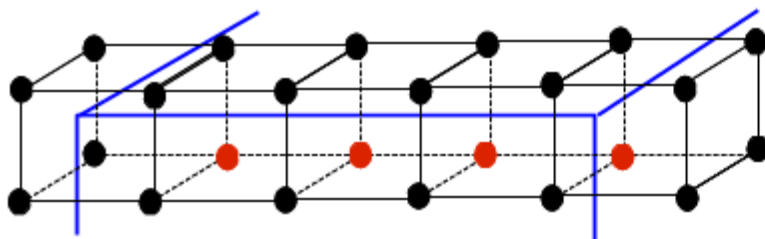


Passage du volumique vers surfacique

- En 3D, après exploitation des symétries, 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 :

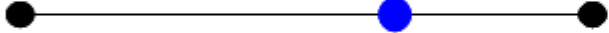


Extended marching cube

- 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:

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



$f(P_1) = a$ $f(P_2) = b$

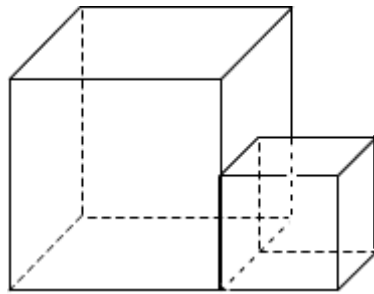
$a < 0$ $b > 0$

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

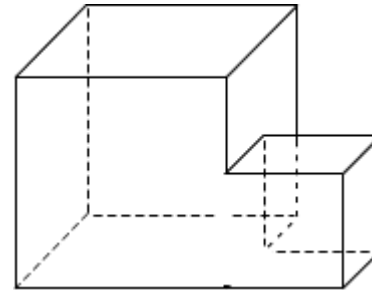
- La normale à la surface est évaluée aux points d'intersection
 - On maille le cube à partir des plans passant par les points d'intersection (ayant comme normale la normale à la surface au point)
- [1] L. Kobbelt et al. "Feature Sensitive Surface Extraction from Data Volume". SIGGRAPH 2001

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