

Chapitre 1:
Modélisation d'objets 3D

I. Introduction

Parmi les techniques infographiques¹ il y a la modélisation 3D qui vise à créer des objets en trois dimension, à partir ou non d'objets réels.

La modélisation 3D est une partie récente de l'informatique et qui ne cesse de se développer grâce aux progrès scientifiques dont l'informatique bénéficie, elle repose essentiellement sur des lois mathématiques complexes, qui sont appliquées à des contextes précis de la physique (et en particulier à l'optique, qui est une partie de la physique prédominante dans la modélisation 3D). [7]

Un modèle d'un objet est une représentation simplifiée d'un objet qui permet de l'observer plus facilement. La construction d'un modèle pour représenter la structure géométrique d'un objet est intéressante à plusieurs points de vue: certaines caractéristiques du modèle peuvent être étudiées plus facilement que celles de l'objet lui-même; l'objet peut ne pas exister; il ne peut être observé directement; comme il ne peut être observé sans engendrer des coûts déraisonnables ou sans contrôle de l'expérience.

II. Différents modes de modélisation

La modélisation d'objets 3D peut être traitée par de nombreuses méthodes, chacune d'entre elles étant bien adaptée à un domaine d'application bien précis.

Il existe deux principaux types de modèles, on a les modèles par frontières et modèles volumiques.

II.1.Modèles frontières

Comme leur nom l'indique les modèles frontières représentent les frontières des objets.

Il existe deux types de modèles frontières : le fil de fer et le Boundary Representation (BR ou Brep).

II.1.1.Fil de fer

Ce type de modèle permet de représenter uniquement le contour des objets. Les objets sont représentés à partir d'un ensemble de segments de droite reliés éventuellement par leurs extrémités.

¹ Outils pour l'acquisition, la création, la transmission d'objets 3D.

Ce modèle est simple, il facilite les transformations de base et de visualisation. Permet à peu près d'avoir une représentation géométrique globale de l'objet. Cependant sa capacité de modélisation est très limitée (faible degré de réalisme), et le calcul de certaines mesures de l'objet peut être difficile ou impossible par manque d'informations sur l'objet. [1]

Il peut y avoir ambiguïté-dans l'interprétation de la représentation ou donner lieu à un modèle impossible.

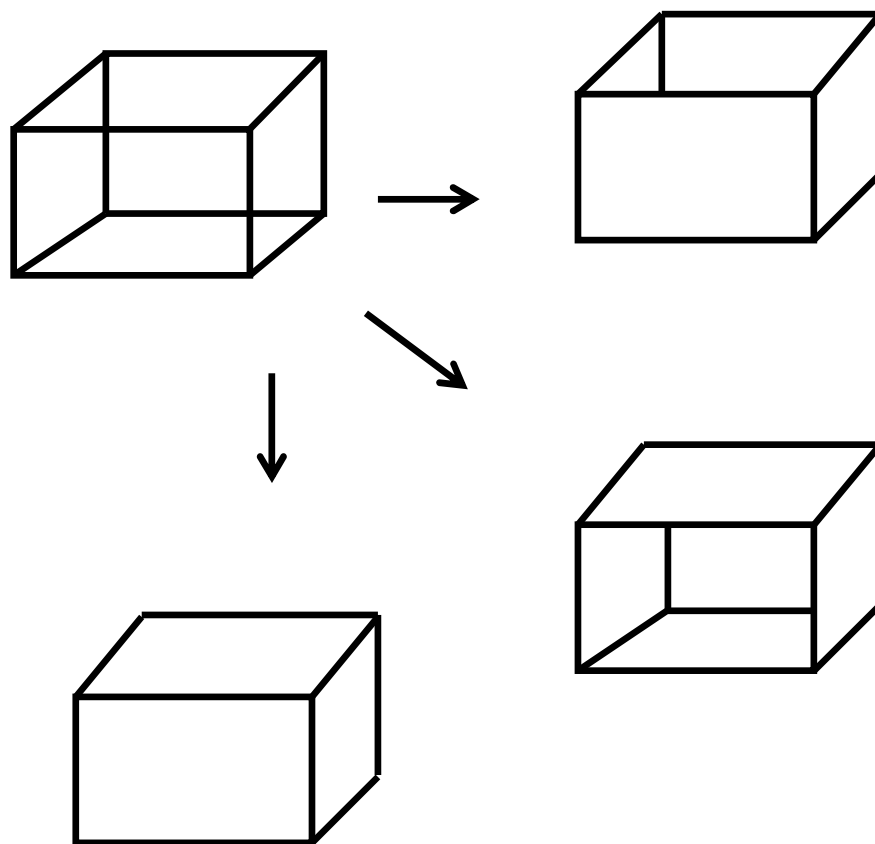


Figure I.1 : plusieurs interprétations d'un même objet.

Bien que toujours utilisé à des fins architecturales, pour des objets simples, il présente le problème de poser des ambiguïtés en représentation 3D. [6]

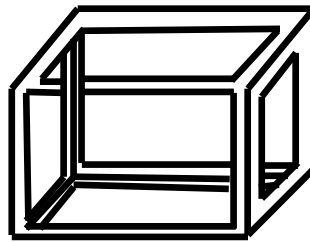


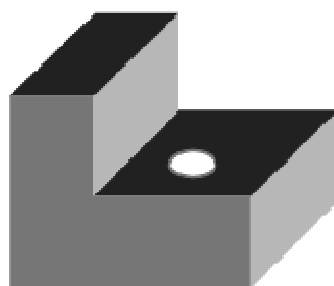
Figure I.2 : Modèle impossible.

II.1.2. Modèles à partir de surfaces frontières (Brep)

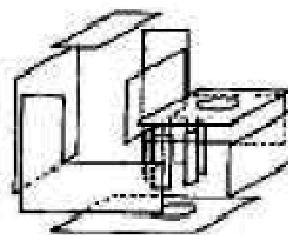
Ce modèle est une extension du modèle Fil de fer, il a été introduit afin de régler les problèmes d'ambiguïté dans le modèle filaire en introduisant la notion de face.

Il ne fournit pas d'information quant à l'intérieur de l'objet. L'ensemble des facettes forme une figure fermée. Ces facettes ne s'interceptent pas sauf à des arêtes ou sommets communs. Le nombre de facettes peut être élevé.

Le modèle Brep permet d'effectuer facilement une visualisation du solide et les opérations complexes tel que le calcul du volume d'un solide, appartenance d'un point au Solide. Cependant il ne fournit qu'une approximation de la surface du solide, et la construction de ce dernier est longue et fastidieuse car il faut Construire et agencer manuellement tous les éléments : Faces, Arêtes, Sommets, en plus du risque d'erreur topologique (ex. : oubli d'une arête) et la difficulté de revenir en arrière dans la conception du solide sans oublier une grande quantité d'informations à stocker.



Objet à modéliser



Brep correspondant

Figure I.3 : le modèle Brep.

II.2. Modèles volumiques

Il existe deux types de modèles volumiques:

- Les modèles de composition.
- Les modèles de décomposition.

II.2.1. Modèles de composition (constructifs)

Ils considèrent les solides comme des ensembles de points 3D.

Débutent avec des ensembles simples qui peuvent être représentés directement à l'aide de primitives (quadriques, polyèdres, etc.). Des objets plus complexes sont obtenus en combinant des ensembles simples entre eux à l'aide d'opérations ensemblistes.

■ *Modèles CSG (constructive solid geometry)*

Il s'agit de manipuler des objets élémentaires bornés : polyèdre, cylindre, sphère, etc.

Pour ce qui est des primitives non élémentaires, l'utilisateur doit spécifier uniquement le système de référence de l'objet. On met à la disposition de l'utilisateur un nombre fini de primitives simples dont la grandeur, la forme, la position et l'orientation sont définies par ce dernier.

L'opération de modélisation est simplifiée; l'animateur doit spécifier seulement l'arbre de construction. Aucune ambiguïté dans le modèle; cela donne lieu à des objets valides.

Cependant il est incomplet car il nécessite des algorithmes pour évaluer l'arbre de construction. Lorsque l'arbre CSG est mal balancé, les algorithmes proposés sont inefficaces. Il est difficile de construire un modèle CSG pour décrire des objets complexes n'intégrant aucune propriété géométrique, par exemple : la représentation d'un visage humain, L'évaluation de l'arbre de construction peut exiger des temps de calculs importants.

■ *primitive instancing*

La modélisation appelée « primitive instancing » utilise des primitives complexes paramétrables.

C'est une modélisation qui peut être employée dans des domaines bien précis où les objets peuvent se regrouper par type. Dans ce cas, c'est une alternative très intéressante

au CSG par exemple la figure ci-dessous présente plusieurs bâtiments définis par leur longueur, le nombre de cheminées et de fenêtres.



Figure I.4 : plusieurs bâtiments définis avec primitive instancing.

II.2.2. Modèle de décomposition (descriptifs)

Ces modèles décrivent l'espace utilisé au moyen d'un ensemble de volumes contigus et sans intersection.

C'est un mode de représentation de solides par partitionnement spatial où chaque solide est décomposé en un ensemble de solides adjacents, sans intersection, qui sont plus primitifs que le solide original, bien que nécessairement du même type.

Les objets sont représentés comme un ensemble d'objets ou cellules élémentaires : nous en distinguons deux méthodes : l'énumération exhaustive des cellules élémentaires, et la subdivision irrégulière d'une région dont l'objet à modéliser fait partie.

■ Énumération exhaustive des cellules élémentaires

- *Model Voxel*

Les voxels² sont des cellules spatiales occupées par le solide : en général des cubes de taille fixe repartis selon une grille, le solide est défini par la liste des coordonnées des centres des cellules.

Chaque cube peut être défini uniquement à partir d'un de ses sommets. En associant à chaque objet une région régulière dont l'objet fait partie, l'objet est représenté à partir d'un tableau binaire 3D.

Un élément du tableau $\equiv$ $\begin{cases} 1 \Leftrightarrow \text{le cube associé représente une sous-région du solide,} \\ 0 \Leftrightarrow \text{le cube ne fait pas partie du solide.} \end{cases}$

² Volumetric pixel : désigne les pixels d'images 3D.

Le modèle Voxel permet de construire facilement et efficacement de nouveaux objets à l'aide d'opérations ensemblistes en se basant sur ces tableaux binaires, et d'évaluer efficacement différentes mesures de l'objet.

Ce modèle est une représentation approximative de l'objet à moins que celui-ci ne coïncide exactement avec la grille ce qui est rarement le cas. On peut réduire la taille des voxels afin d'augmenter la précision de la représentation du solide.

Cela exige une quantité d'espace mémoire imposante. Cette approche ne peut être exploitée directement : pour construire un objet, on ne peut exiger l'énumération de l'ensemble de ces cellules.

■ Subdivision irrégulière d'une région dont l'objet à modéliser fait partie

Les techniques d'énumération spatiale sont simples, générales et permettent de développer une grande variété d'algorithmes. Mais elles exigent une grande quantité d'espaces mémoires et une représentation très approximative des solides.

Les cubes élémentaires voisins d'un cube faisant partie de l'objet ont de bonnes chances d'en faire partie aussi. Pour remédier à cet inconvénient, nous nous basons sur le principe suivant:

Le nombre de cubes nécessaires pour représenter un objet devrait dépendre de la surface de l'objet et non du volume de l'objet.

La principale méthode basée sur ce principe est l'Octree qui est une généralisation des Quadrees.

- **QUADTREE**

Un quadtree est une représentation d'un objet 2D basée sur la subdivision récursive d'un carré en quatre carrés de même taille (quadrants). A chaque stade du processus récursif, deux cas sont possibles :

- ❖ L'objet ne recouvre pas complètement le quadrant; il est alors subdivisé en quatre nouveaux carrés
- ❖ Le quadrant est plein ou vide; la subdivision est alors stoppée et le quadrant est marqué comme "plein" (1) ou "vide" (0).

- **OCTREE**

L'Octree est donc une extension du quadtree à trois dimensions pour encoder des solides.

Une région cubique est récursivement subdivisée en huit octants (régions cubiques).

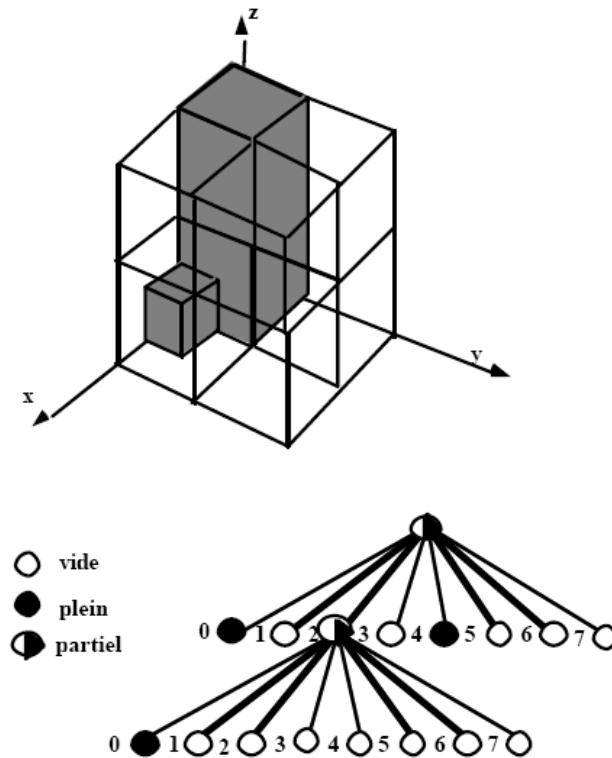


Figure I.5 : L'Octree.

Dans les sections précédentes nous avons présenté les principaux modes de modélisation, cependant il existe d'autres que nous allons voir dans ce qui suit.

II.3.Modèles par balayage (sweeping)

Ces représentations sont basées sur le déplacement d'une région (génératrice) le long d'une courbe (directrice). On distingue trois principales représentations de ce type: les surfaces par balayage translationnel, les surfaces par balayage rotationnel et les surfaces par balayage conique.

II.3.1. Balayages translationnels

Ils sont à l'origine des formations de cylindres. Un objet défini par balayage translationnel s'obtient en translatant une région 2D « C » le long d'un vecteur « T » et selon une distance « d », comme le montre la Figure I.6. Le plan « P0 » de la courbe est appelé le plan de base et le plan « P1 » à une distance « d » est le plan du sommet.

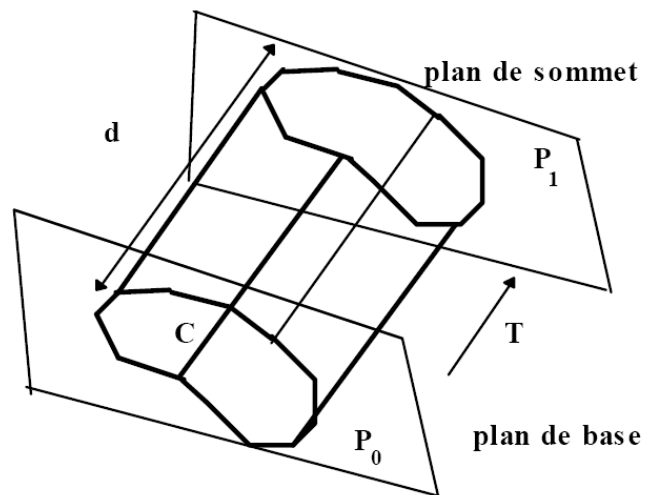


Figure I.6: Balayage translationnel.

II.3.2 Balayages rotationnels

Les objets générés par balayage rotationnel sont obtenus en faisant tourner une région 2D « C » autour d'un axe « A ». Deux éléments sont importants dans une telle surface: le point de base « B » et la fonction radiale « r(s) ».

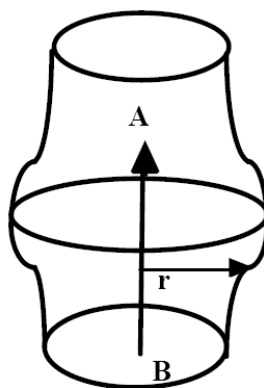


Figure I.7 : Balayage rotationnel.

II.3.3. Balayages coniques

Ces balayages à l'origine des cônes consistent en un déplacement d'une région 2D « C » avec transformation d'échelle.

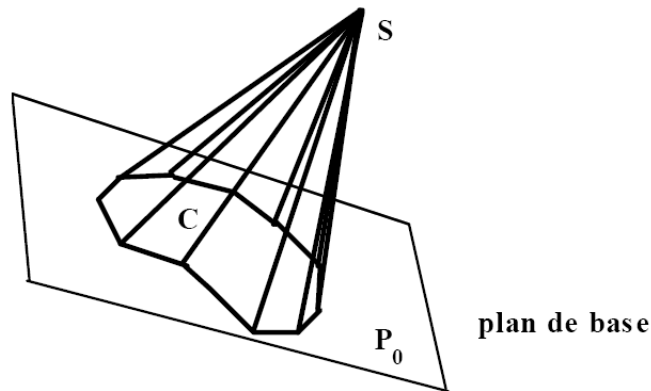


Figure I.8 : Balayage conique.

II.4. Modèle fractale

Pour modéliser des environnements naturels tels que les montagnes, les feuillages ou un ciel nuageux, il est nécessaire de disposer de modèles autres que ceux présentés précédemment. Ces derniers sont, en effet, inefficaces pour représenter des motifs répétés un grand nombre de fois comme c'est le cas pour les décors cités.

Les modèles fractals apportent une solution efficace à ce problème. Le terme fractal, issu du latin « frangere » et originalement proposé par MandelBrot [1982], est utilisé par la communauté graphique pour décrire tout modèle irrégulier et fragmenté pour lequel les irrégularités sont conservées (on parle d'auto-similarité). Il s'agit généralement de fonctions récursives utilisant un motif initial et un motif de remplacement.

Un objet est dit fractal lorsque le processus de remplacement est appliqué à l'infini pour la création de l'objet. [3]

II.4.1 Courbes fractales

Pour générer une courbe fractale, on remplace à l'étape « i » les segments du motif de l'étape (i-1) par le motif de remplacement. Lorsque le processus est répété à l'infini, la

courbe est dite auto-similaire : la courbe entière est similaire à une sous-partie d'elle-même.



Figure I.9: Le flocon de Von Koch.

La dimension fractale d de la courbe est définie par : $n^{1/d} = f$,

Où n est le nombre de parties du motif ($n = 4$ ici) et f est le facteur de diminution du motif ($f = 3$ ici).

La dimension est donc : $d = \log 4 / \log 3 = 1,26$.

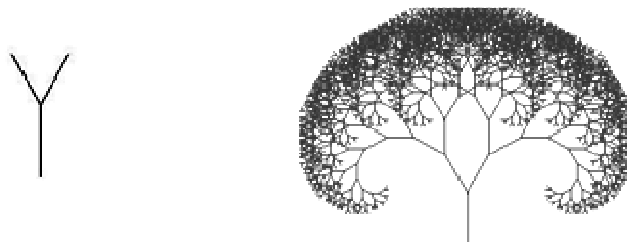


Figure I.10: Autre exemple de courbe fractale.

II.4.2 Surfaces fractales

Les surfaces sont générées de manières similaires aux courbes. Par exemple, l'algorithme de Fournier-Russel-Carpenter permet de générer des montagnes fractales. Le principe est, à partir d'un triangle initial, de subdiviser chaque segment du triangle en deux puis de modifier la hauteur du point milieu de chaque segment de manière aléatoire (voir figure I.10).

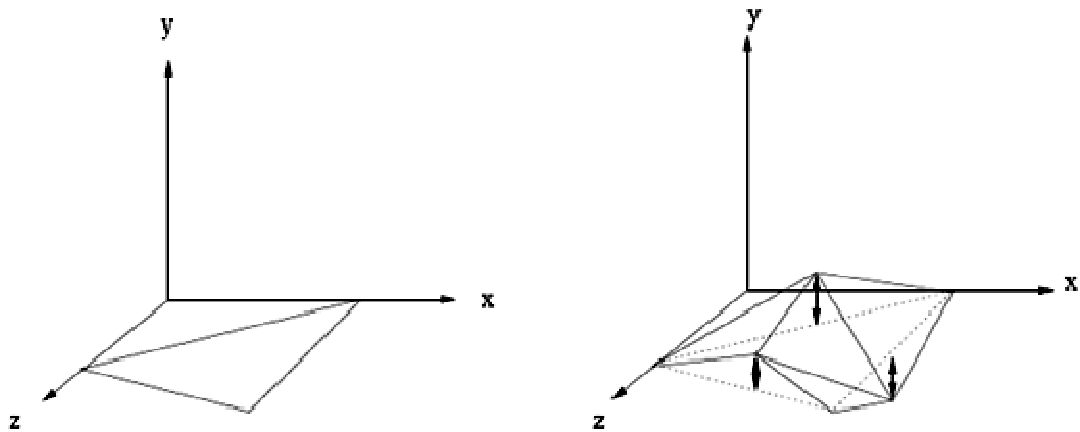


Figure I.11 : Montagnes fractales : chaque segment est subdivisé en deux et la hauteur du point milieu de chaque segment est modifiée de manière aléatoire.

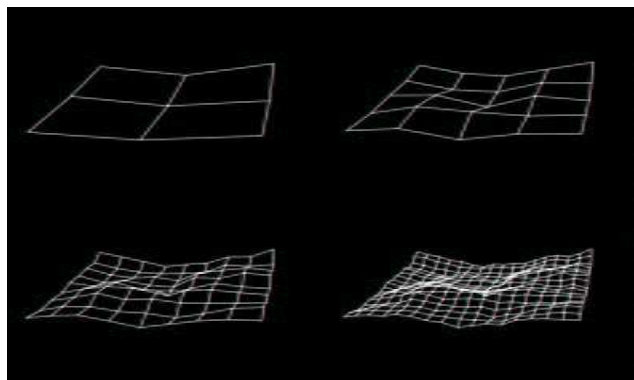


Figure I.12: Le motif utilisé pour la modélisation du ciel.

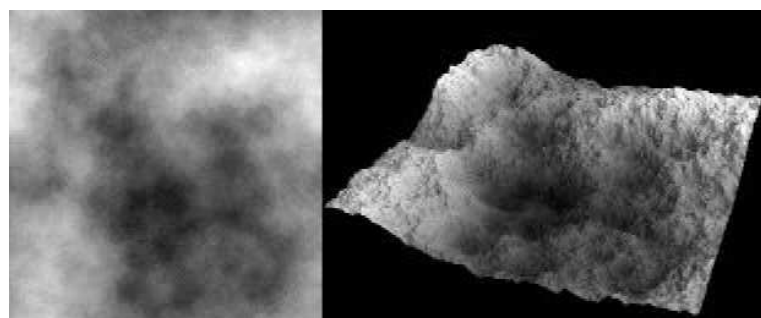


Figure I.13: La surface générée pour réaliser le ciel et l'image résultat.

II.5. Système de particules

Ils permettent de modéliser des objets flous (fuzzy) tels que feu, nuage, eau, . . . Ce type de modélisation prend naturellement en compte les contraintes d'animation bien qu'il décrive parfaitement les modèles purement statiques.

Un objet est représenté par un ensemble de particules, chacune d'elles naissant, évoluant dans l'espace et le temps et disparaissant. Des attributs tels que la couleur, la transparence, la vitesse et la taille sont fonctions du temps. [5]

II.6. Modèles polygonaux

Le modèle est assimilé à un ensemble de polygones : ce polyèdre³ est donc décrit par la liste des sommets et des arêtes. Si les polygones sont orientés, on pourra différencier l'extérieur et l'intérieur du modèle. Si l'on veut lever l'ambiguïté apportée par des polygones non plans, on utilisera uniquement des triangles.

Ces représentations sont extrêmement répandues en raison de leurs simplicités.

Dans le cas de surface, on parle de maillage polygonale : une collection de sommets, côtés et polygone telle qu'un côté est partagé par deux polygones au plus. Le problème qui se pose au programmeur ici est de choisir une représentation adéquate, pour le stockage externe (dans un fichier) et interne (en mémoire). [3]

Quelles informations stockées et comment ?

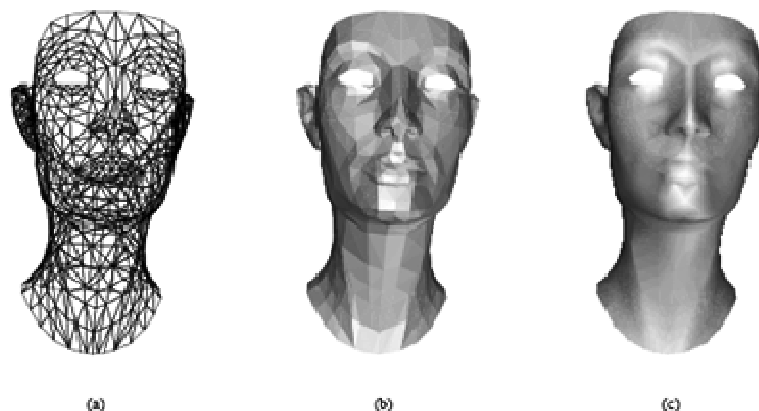


Figure I.14 : Exemple de modèle polygonal (facettes triangulaires) :
(b) ombrage plat, (c) ombrage de Gouraud.

³ Un polyèdre est une forme géométrique à trois dimensions ayant des faces planes polygonales qui se rencontrent selon des segments de droite qu'on appelle arêtes.

Plusieurs représentations sont possibles, le choix se fait en fonction des besoins et considérant les coûts en espace (représentations externes et internes) et en temps (représentations internes).

Les opérations typiques sur les maillages sont :

- trouver les côtés incidents à un sommet.
- trouver les voisins d'un sommet.
- trouver les polygones partageant un côté ou un sommet.
- trouver les côtés d'un polygone.

L'idéal consiste à stocker en interne le maximum d'informations pour éviter des calculs répétitifs, mais cela nécessite un espace mémoire important.

II.7. Courbes et surfaces paramétriques

Les approximations polygonales sont des approximations linéaires par morceaux (1er degré). Elles nécessitent un nombre de points importants pour obtenir une bonne précision. Une autre approche consiste donc à utiliser des modèles d'ordre supérieurs pour représenter les courbes et surfaces. Les représentations paramétriques répondent à ce besoin et apportent un gain en espace mémoire ainsi qu'en possibilité de manipulations.

On utilise en général des courbes de degré 3 (cubiques). Dans le contexte du traitement ou de la synthèse d'images, nous cherchons à interpoler ou approximer une courbe à partir d'un nombre fini de points.

On utilise pour cela les courbes de la forme : $P(t) = (x(t), y(t), z(t)) = \sum_{i=0}^n f_i(t) P_i$.

$X_{i=0}$

Où $f_i(t)$ sont des fonctions de pondérations, $p_i = (x_i; y_i; z_i)$ sont les points de données.[3]

II.7.1. Courbes de Bézier

Du nom d'un ingénieur de Renault (Pierre Bézier) qui développa ce modèle de courbes pour la conception de carrosseries de voitures.

Une telle courbe commence par le premier, finit par le dernier point et ne passe pas obligatoirement par les autres points, elle n'est pas déformée par translation et rotation, mais par changement des paramètres de mise en perspective.[14]

Quand on modifie la position d'un seul point de contrôle (sommet), la courbe est intégralement modifiée ce qui entraîne sa réévaluation intégrale. Il n'y a donc pas de contrôle local sur la forme de la courbe.

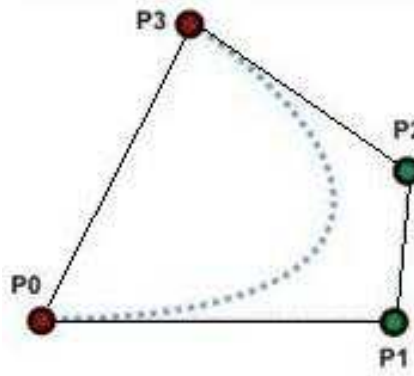


Figure I.15: Une courbe de Bézier cubique avec les points de contrôle $P_0, \dots, P_3$.

II.7.2. Courbes et surfaces B-splines

Les courbes et les surfaces spline sont des modèles mathématiques qui permettent d'associer une représentation continue (courbe ou surface) à un ensemble discret de points d'un espace affine (habituellement $\mathbb{R}^3$). [4]

▣ Courbes B-splines

Les B-splines cubiques (splines = lattes de jardinier) sont des courbes polynomiales cubiques de continuité C^2 . Elles approximent un ensemble de points de contrôle P_i , $i \in [0;m]$ avec une courbe constituée de $m-2$ segments de courbes polynomiales Q_i , $i \in [3;m]$. Chaque segment de courbes est en fonction d'un paramètre t variant de t_i à t_{i+1} et de 4 points de contrôle. [3]

Le segment Q_i est donc défini par : $p_{i-3}, p_{i-2}, p_{i-1}, p_i$ pour t variant de t_i à t_{i+1} .

➤ Un point de contrôle affecte 4 segments de courbes.

On distingue deux types de courbes B-splines :

- Les B-splines uniformes.
- Les B-splines non-uniformes.

▣ Surfaces B-splines

Surfaces remédiant en grande partie aux défauts des surfaces de Bézier.

Les propriétés des surfaces splines découlent des propriétés des courbes splines.

Parmi les avantages surfaces B-splines on cite:

- Control local la modification d'un point de contrôle ne change pas toute la courbe.
- « K » et « l » contrôlent l'ordre des B-splines, donc pour la même grille de points de contrôle, on peut obtenir une surface qui adhère plus ou moins à la grille en faisant varier « k » et « l ».

Cependant lorsqu'on augmente « k » ou « l », on augmente aussi considérablement la complexité des calculs, k et l sont entiers et empêchent toute variation continue. [2]

II.7. 3. Courbes et surfaces NURBS

Les NURBS sont utilisées pour représenter mathématiquement des objets géométriques. Elles généralisent la représentation par les B-splines des courbes et des surfaces en ajoutant un dénominateur.

Une B-spline ressemble à une représentation polynomiale par morceaux, alors qu'une NURBS est une représentation par fractions rationnelles par morceaux.

Elles présentent de nombreux avantages comme la facilité et précision pour évaluer une forme, la capacité pour approximer des formes complexes et la simplicité de construction et d'implémentation. [8]

II.8. Modélisation par subdivision de surface

Cette méthode regroupe un peu des deux méthodes classiques (polygonale et NURBS). Elle consiste à accélérer le processus grâce à la subdivision automatique d'une partie de la surface. Ceci permet d'ajouter des détails à certains endroits uniquement, sans se soucier du nombre de faces comprises sur la globalité de l'objet.

Elle se rapproche de la modélisation polygonale par les techniques employées lors de la création de la forme, et de la modélisation par NURBS en ce qui concerne le rendu de la surface, c'est-à-dire son arrondi.

III. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu les différentes techniques de modélisation des objets 3D, la modélisation surfacique (modèles par balayage) qui offre une représentation plus ou moins complexe d'un objet et qui est très adaptée à la conception de formes, la modélisation filaire qui permet une description simple de la forme mais n'apporte pas d'information de surface, et la modélisation volumique qui représente un objet comme un volume avec des informations sur l'intérieur de la forme.