

*Chapitre 2:*  
*Maillage triangulaire*

## I. Introduction

Les maillages 3D sont composés d'un ensemble de faces comprenant des sommets (vertex) ainsi que des arêtes. Le type de face est variable et les maillages triangulaires, quadrangulaires ou simplexes sont assez courants. Les maillages triangulaires sont cependant les plus répandus car ils représentent une solution privilégiée pour l'industrie de par leur simplicité et leur flexibilité.

## II. Maillage triangulaire

La représentation la plus simple d'une forme est de décrire les points caractérisant cette forme. Une représentation plus complète consiste à représenter les formes par maillage.

Un maillage est un ensemble d'éléments ou mailles dont la dimension dépend du domaine à mailler et de l'espace dans lequel se trouve ce domaine :

- Linéique lorsque le domaine est une courbe ou une droite ; il peut être plongé dans un espace de dimension un, deux ou trois. Les mailles sont des segments.
- Plan lorsque le domaine et l'espace sont en dimension deux ; les mailles sont des polygones.
- Surfaique lorsque le domaine est en dimension deux et l'espace en dimension trois ; les mailles sont des "polygones" non forcément planaires (par exemple les quadrangles).
- Volumique lorsque le domaine et l'espace sont en dimension trois : les mailles sont des polyèdres, très souvent des tétraèdre<sup>4</sup> ou des hexaèdres<sup>5</sup>. [11]

### II.1 Méthodes de génération des maillages de surfaces 3D

Les surfaces d'objets tridimensionnels ont un rôle très important dans les applications graphiques actuelles. Elles sont représentées par un maillage polyédrique.

La représentation de ces surfaces par des maillages permet de faire la compression, la visualisation et le transfert des objets 3D efficacement, pour aboutir à un tel maillage triangulaire plusieurs méthodes peuvent être utilisées.

---

<sup>4</sup> Le tétraèdre est un polyèdre composé de quatre triangles

<sup>5</sup> Un hexaèdre est un polyèdre à six faces

### II.1.1 Méthode de Hoppe

A travers une série de trois articles, Hoppe et Al, développèrent la première méthode de reconstruction de surface arbitraire à partir d'un nuage de points non structuré.

Cette approche se résume en trois phases :

#### ■ *Reconstruction*

Cette phase de reconstruction de maillage primaire à partir d'un nuage de points se découpe en deux étapes :

- Création d'une iso-surface approximant le nuage de points : pour cela un plan tangent est estimé pour chaque point selon son voisinage, et l'iso valeur calculée en tout point de l'espace est la distance signée au plan tangent du point du nuage le plus proche.
- Génération d'un maillage à partir de cette surface via une variante de l'algorithme de générations des maillages.

#### ■ *Optimisation du maillage*

Cette phase consiste à réduire le nombre de triangles issus de la première phase ; en équilibrant le rapport entre une représentation minimale (en terme de complexité mémoire, et donc de facettes) et une bonne approximation du nuage de points en se basant sur les techniques de compression.

#### ■ *Génération d'une surface de subdivision*

Cette dernière phase consiste à générer une surface de subdivision, minimisant l'énergie avec le maillage issu de la deuxième phase. Une modification du schéma de subdivision est proposée, permettant de diminuer localement l'ordre de continuité de la surface, et de représenter les arêtes vives.

Si l'angle entre deux faces adjacentes est inférieur à un seuil prédéfini, l'arête commune est marquée comme vive, et un masque spécial de subdivision sera appliqué. Cette approche constitue le point d'entrée de la reconstruction de surface à partir d'un nuage de point non structuré.

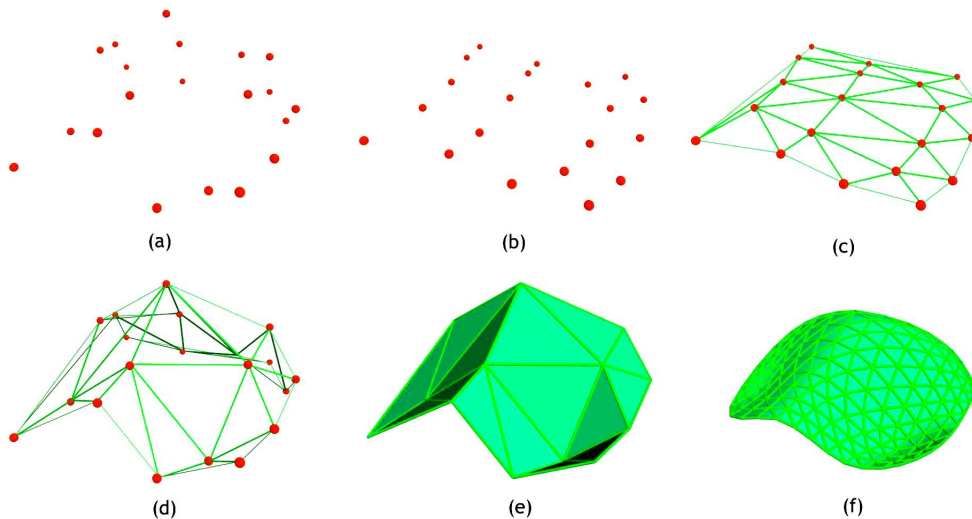


Figure II.1 : Exemple de reconstruction par la méthode de Hoppe. [5]

### II.1.2. Approches basées sur le diagramme de Voronoï

Il existe toute une famille d'algorithmes générant des surfaces explicites (le plus souvent une collection de polygones structurée) à partir de nuages de points.

Afin de générer le maillage, la plupart de ces approches commencent par estimer la topologie de l'ensemble de points à l'aide de son diagramme de Voronoï.

Le diagramme de Voronoï est un partitionnement de l'espace en cellules. Soit  $p$  un point de l'ensemble  $P$ . La cellule associée à  $p$  représente l'ensemble des points de l'espace qui sont plus proches de  $p$  que de tout autre point de  $P$ .

Le diagramme de Voronoï est habituellement utilisé en deux ou trois dimensions. Il est la structure topologique d'un nuage de points, et notamment fournit la notion de voisinage d'un point :  $p$  est voisin d'un point  $q$  de  $P$  si et seulement si leur cellule de Voronoï sont adjacentes.

Une fois le diagramme de Voronoï établie, on peut construire son dual géométrique, la Triangulation de Delaunay, comme montré sur la figure II.2. Il s'agit d'un ensemble de triangles en 2D, ou de tétraèdre en 3D. [5]

Le noyau de Delaunay est une méthode permettant d'insérer un point dans une triangulation en modifiant localement la topologie de la triangulation existante tout en maintenant le critère de Delaunay. C'est pourquoi les méthodes utilisant le noyau de Delaunay sont qualifiées d'incrémentales.

Une triangulation de Delaunay a les propriétés suivantes :

- le maillage de Delaunay interpole l'ensemble des points de P ;
- une arête entre deux points de P existe si et seulement si leurs cellules de Voronoï sont adjacentes ;
- elle maximise l'angle minimal entre deux arêtes ayant un sommet en commun (bon équilibre du maillage) ;
- le cercle circonscrit d'un triangle de Delaunay ne contient aucun autre point de P.

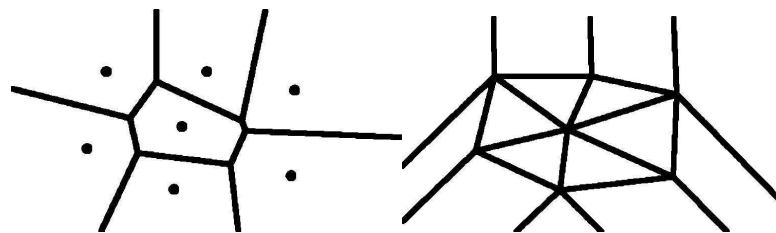


Figure II.2 : Diagramme de Voronoï et sa triangulation de Delaunay

## II.2. Adaptation de maillages

Il arrive qu'on ne sache pas construire un maillage avec les propriétés optimales ou qu'on souhaite réutiliser un maillage dans un autre contexte que celui prévu au départ. Dans ces cas, une adaptation est appliquée au maillage existant de manière à améliorer ses propriétés.

Il peut s'agir d'affiner le maillage là où une concentration de nœuds donnée est nécessaire, de le simplifier, par exemple pour l'adapter au point de vue, ou de modifier la position des nœuds pour améliorer la forme des éléments.

### II.2.1. Raffinement

Le raffinement de maillage n'est autre que l'ajout de nœuds dans le maillage de manière à rendre le traitement sur le maillage plus précis.

Pour les maillages triangulaires, les méthodes de raffinement les plus connues et les plus utilisées dans le domaine de la simulation exploitent le noyau de Delaunay.

### II.2.2. Déplacements de nœuds

La construction et le raffinement d'un maillage nécessitent la plupart du temps un post traitement car les algorithmes produisent malgré tous des défauts que les méthodes d'optimisation réduisent considérablement en peu de temps.

Ces défauts proviennent le plus souvent de la difficulté à construire de nouveaux points de manière à satisfaire au mieux des propriétés parfois contradictoires sur le maillage. Pour améliorer le maillage, un déplacement des nœuds est alors appliqué de manière à rendre plus régulières la répartition des nœuds et, par suite, la forme des éléments.

La méthode la plus simple pour rendre la forme des éléments plus régulière, est de chercher à placer chaque sommet au barycentre de ses voisins. Chaque sommet est traité une fois, puis le processus recommence jusqu'à ce que le déplacement de chaque sommet soit inférieur à un seuil donné ou qu'un nombre d'itérations fixé à l'avance soit atteint. Le plus souvent, les points ne sont déplacés que d'une fraction de la distance entre la position actuelle et le barycentre.

Cette méthode dite du Laplacien, possède des inconvénients, dont celui de produire des éléments de mauvaise qualité voire des éléments inversés dans les régions concaves.

### II.2.3. Simplification de maillage

Les travaux de simplification de maillage concernent majoritairement le domaine de la visualisation, où les scènes peuvent comporter de nombreux objets plus ou moins complexes.

Pour afficher rapidement une scène et permettre de s'y déplacer, le maillage est simplifié par réduction du nombre de triangles. Il existe différentes manières de simplifier un maillage. La plupart dégradent la précision d'approximation du maillage afin de réduire significativement le nombre de triangles.

Ces méthodes d'adaptation de maillage ont pour vocation de modifier un maillage existant pour qu'il satisfasse mieux un certain nombre de contraintes.

## III. Format d'objets 3D

Pour représenter un objet 3D il faut au minimum une description :

- De la topologie de l'objet, sa forme, sa taille et sa complexité.

- Des attributs de représentation : couleurs, textures (nature et position), qualité photométrique de sa surface, transparence.
- De ses attributs dynamiques s'il est animé : capacité de collision avec d'autres objets, articulations et contraintes, etc.

Les premiers formats standard de fait ont été des formats adaptés à la CAO<sup>6</sup> : l'objet est défini à l'aide de facettes ou de surfaces analytiques. Il suffit de définir son origine puis les coordonnées caractéristiques des éléments dans l'espace à trois dimensions.

Actuellement, dans le monde professionnel, il n'y a pas de format unique mais plutôt des formats plus ou moins utilisés selon le type d'application.

### **III .1.les différents formats des objets 3D**

La plupart des modeleurs 3D savent plus ou moins bien lire (Import) et créer (Export) plusieurs formats : c'est un critère de choix important. On va citer dans ce qui suit les formats les plus répandus.

#### **III.1.1. DXF (Drawing eXchange Format)**

Il a été créé par la société Autodesk servant à échanger des fichiers DAO<sup>7</sup> ou CAO entre systèmes CAO n'utilisant pas le même format de fichier natif. Il a été conçu à l'origine pour représenter les modèles 3D créés avec AutoCAD.

DXF est un format de fichier utilisé pour le transfert de données du type vecteur. Il contient de l'information pour la visualisation des données graphiques et est supporté par presque tous les logiciels graphiques. Il y a beaucoup de méthodes pour enregistrer les données des attributs des objets graphiques par le format DXF et aussi pour lier des objets DXF à des attributs externes. [17]

Dans ce format, un objet est une suite d'entités nommées et constituées de liste de points X, Y, Z. Par indexation, on constitue des facettes triangles ou des lignes qui s'appuient sur ces points.

#### **III.1.2. Open Inventor**

Si le format DXF était suffisant pour du dessin technique il était totalement inadapté à la réalité virtuelle. Dans les années 1990, la société Silicon Graphics (constructrice de

---

<sup>6</sup> CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

<sup>7</sup> DAO : Dessin Assisté par Ordinateur, discipline permettant de produire des dessins techniques avec un logiciel informatique.

station graphique 3D) publia le format Inventor qui comportait la majorité des éléments nécessaires.

C'est une bibliothèque logicielle développée à l'origine par la société Silicon Graphics (IRIS Inventor) pour permettre de gérer des graphes de scènes en trois dimensions. Cette bibliothèque, orientée objet et écrite en C++, est capable de gérer son propre format natif de description des scènes : le format Inventor considéré comme étant l'ancêtre de VRML (leurs syntaxes respectives sont d'ailleurs similaires).

Ce format évolua vers le format VRML qui a été normalisé.

### III.1.3. Le Virtual Reality Modeling Language (VRML):

Le Virtual Reality Modeling Language ou « Virtual Reality Markup Language » est un langage de description d'univers virtuels en trois dimensions. Les fichiers VRML ont habituellement pour extension « .wrl ».

En fait, c'est à proprement parler un langage de présentation et non de programmation, puisque comme pour le langage HTML par exemple, un fichier VRML ne contient généralement pas une suite d'instructions mais plutôt les informations permettant au visionneur d'afficher ensuite les éléments (formes, senseurs, lumières, etc.).

Présenté lors de la World Wide Web Conférence de 1994, VRML n'est pas l'œuvre d'un unique programmeur, mais plutôt le résultat de la collaboration de plusieurs professionnels de la 3D, dont entre autres Mark Pesce, Tony Parisi, Gavin Bell (Silicon Graphics) et Paul Strauss (Silicon Graphics).

Les programmes VRML peuvent décrire des formes simples (points, lignes, polygones) ou complexes (sphères, cubes, cônes, cylindres...), du texte, des images, des animations, des éclairages, des sons.

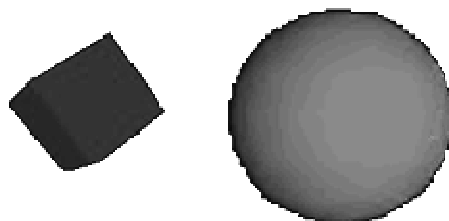


Figure II.3 Exemple d'images 3D enVRML



### **III.1.4. 3D Studio Max (ou 3ds max)**

3ds max est un logiciel de modélisation et d'animation 3D, développé par la société Autodesk. Avec Maya, Softimage XSI, Lightwave, Houdini et Blender, il est l'un des logiciels de référence dans le domaine de l'infographie 3D.

Le logiciel est issu du programme 3D Studio qui a tourné sous DOS jusqu'à sa version 4. Les programmeurs de Kinetix<sup>8</sup> ont développé un logiciel entièrement nouveau et repensé.

3dsmax est ainsi conçu sur une architecture modulaire et supporte des plug-ins (extensions), ainsi que les scripts écrits dans un langage propriétaire « maxscript ».

Le logiciel s'est développé rapidement, en étant utilisé principalement dans le cadre du jeu vidéo. 3D Studio Max est également utilisé dans un nombre croissant de films dont : X-Men II et Final Destination II.

Le logiciel est actuellement en version 2011 (3ds max 2011) et est développé par Autodesk (anciennement appelé Discreet, qui développe aussi Combustion et d'autres logiciels professionnels), et intègre de très nombreuses fonctionnalités, comme le moteur de rendu Mental Ray, ainsi que le plugin Shave and HairCut de Joe Alter pour les rendu de cheveux et de poil, nouveautés de la version 8 ou le moteur d'animation de personnage Character Studio, associé avec 3D Studio Max sous la forme d'un plugin. Gmax en est une version simplifiée et gratuite.

### **III.1.5. OBJ**

C'est un format de fichier contenant la description d'une géométrie 3D. Il a été défini par la société Wavefront Technologies dans le cadre du développement de son logiciel d'animation « Advanced Visualizer ».

Ce format de fichier est ouvert et a été adopté par d'autres logiciels 3D (tels que Poser de e-frontier, Maya de Autodesk, Blender, MeshLab, 3D Studio Max, GLC Player etc.) pour des traitements d'import / export de données.

### **III.1.6. Blender**

Blender, aussi appelé Blender3D, est un logiciel libre et gratuit d'animation, de modélisation et de rendu 3D. Il dispose de fonctions avancées de modélisation, de

---

<sup>8</sup> Une division d'Autodesk rebaptisée maintenant Autodesk Media and Entertainment

sculpture 3D, de dépliage UV, de texturage, de gréage, d'armaturage, d'animation 3D, et de rendu. Il gère aussi l'édition non linéaire, les compositions, la création nodale de matériaux, la création d'applications 3D interactives, ainsi que diverses simulations physiques telles que les particules, les corps rigides, les corps souples et les fluides. Disponible dans de nombreuses langues, Blender est également disponible sur plusieurs plates-formes telles que Microsoft Windows, Mac OS X, GNU/Linux, IRIX, Solaris, FreeBSD, SkyOS, MorphOS et Pocket PC. De plus, c'est un programme extensible (ajout de scripts) à l'aide du langage Python. [15]

### **III.1.7. Initial Graphics Exchange Specification (IGES)**

C'est un format d'exportation de données graphiques; IGES est directement importable dans les logiciels de CAO. Ce type de format d'export présente une universalité assez forte dans le domaine des CAO 3D orientées surfacique et filaire. L'export porte ici sur la définition mathématique de la surface qui conserve ainsi toutes ses propriétés initiales.

### **III.1.8. VTK**

Ce sont des types de fichiers utilisés dans la librairie VTK (The Visualization Toolkit) c'est une librairie graphique gratuite, portable, orientée objet pour développer des logiciels d'infographie, de visualisation ou de traitement d'images.

Elle fournit une grande variété de structures de données codant des ensembles utiles en visualisation comme les ensembles de points.

De plus elle apporte une grande quantité de procédures de lecture/écriture en de très nombreux formats pour permettre l'importation et l'exportation des formats de codages usuels (PLOT3D, IV, VRML, ...). Afin de traiter efficacement ces données, des filtres sont disponibles agissant sur la géométrie ou les données numériques des maillages. Cette partie de la librairie est particulièrement bien fournie apportant un choix considérable et surtout efficace de méthodes.

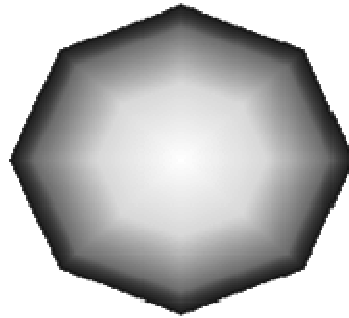


Figure II.4: Exemple d'image 3D en format VTK.

Actuellement VTK est distribuée comme une surcouche d'OpenGL pour se plier au standard et assurer une grande portabilité. [16]

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté deux méthodes qui permettent la reconstruction d'un maillage à partir d'un nuage de points dispersés, et les méthodes d'adaptation d'un maillage.

Ensuite nous avons fait un tour sur les différents formats d'objets tridimensionnels. Il existe une palette impressionnante des types de fichier concernés par la 3D, cependant nous avons vu juste une partie.